

**Pedro Manuel Branco  
dos Santos Bento**

**Recursos, Ideias, Concepção e Realização Material  
no Alvorecer da Música Electroacústica.  
O *Poème Electronique* de Edgard Varèse**

**Pedro Manuel Branco  
dos Santos Bento**

**Recursos, Ideias, Concepção e Realização Material  
no Alvorecer da Música Electrónica.  
*O Poème Electronique* de Edgard Varèse**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Música – Estudos Teóricos, realizada sob a orientação científica da Profª Doutora Isabel Maria Machado Abranches Soveral, Professora Auxiliar do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Fernando Manuel dos Santos Ramos**  
professor catedrático da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor José Tomás Henriques**  
professor auxiliar da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa

**Prof. Doutora Isabel Maria Machado Abranches Soveral**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Helena Maria da Silva Santana**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Kees Tazelaar, Compositor e Professor do *Institut voor Sonologie*, responsável pela reconstrução a partir das fitas originais do *Poème Electronique* e investigador da história da música electrónica na Holanda na década de 1950, teve a amabilidade de me manter informado sobre os resultados da sua pesquisa e de esclarecer diversas dúvidas que lhe coloquei, inicialmente por e-mail, mais tarde em conversação directa. A sua colaboração permitiu incrementar significativamente a fiabilidade da minha própria investigação, em particular no que toca às condições específicas que acompanharam a produção do *Poème Electronique*.

## resumo

O compositor Edgard Varèse (1883-1966) apregoou com frequência a necessidade de aproveitar, no domínio da criação e da investigação musical, dos recursos que surgiram com o desenvolvimento da electrónica. No entanto, apenas no final da sua vida teve acesso a esses recursos, ao ser convidado para compor a obra *Poème Electronique* para o Pavilhão Philips da Exposição Universal de Bruxelas (1958). A presente investigação teve como objectivo reunir elementos de contextualização, factual e cronologicamente definidos, que permitam avaliar a articulação entre os progressos tecnológicos ao nível da electroacústica e dos instrumentos musicais electrónicos e os objectivos estéticos de Varèse, tomando como caso exemplar a realização material do *Poème Electronique* e reavaliando a medida em que esta obra é um produto do seu tempo.

## **abstract**

Composer Edgard Varèse (1883-1966) often heralded the need to apply the resources that emerged along with the development of electronics, in the context of music creation and research. However, only towards the end of his life did he obtain access to such resources, as he was invited to compose *Poème Electronique* for the Philips Pavillion at the 1958 Brussels World Fair. This research aims to collect context elements, well defined as facts and in time, in order to evaluate the interconnections between technological progress in electroacoustics and electronic musical instruments and the aesthetic purposes of Varèse, taking *Poème Electronique*'s material realization as a case study and reassessing the way this work is a product of its own time.

# ÍNDICE

INTRODUÇÃO .....	<a href="#">3</a>
1.VARÈSE I: CONTEXTO E ESTÉTICA .....	<a href="#">9</a>
1.1.Enquadramento Biográfico .....	<a href="#">10</a>
1.2.Ideais Estéticos .....	<a href="#">13</a>
2.RECURSOS I: ACÚSTICA E ELECTRÓNICA .....	<a href="#">18</a>
2.1.Sistemas Telefónicos: Os Primeiros Transdutores .....	<a href="#">19</a>
2.2.A «Nova <i>Válvula de Vácuo</i> », ou <i>Audion</i> .....	<a href="#">21</a>
2.3.Amplificadores e Sistemas de Amplificação .....	<a href="#">23</a>
2.4.Desenvolvimento de Altifalantes .....	<a href="#">26</a>
2.5.Registo Sonoro e Alta Fidelidade .....	<a href="#">31</a>
2.5.1.Sistemas de Gravação Mecânica .....	<a href="#">32</a>
2.5.2.O Cinema Sonoro .....	<a href="#">35</a>
2.5.3.Registo Magnético .....	<a href="#">36</a>
2.5.4.Objecções à Expansão da Curva de Resposta nos Agudos .....	<a href="#">44</a>
2.6.Reprodução Espacializada .....	<a href="#">48</a>
2.6.1.Microfones .....	<a href="#">49</a>
2.6.2.Estereofonia .....	<a href="#">51</a>
2.6.3.Sistemas de Espacialização no Cinema .....	<a href="#">53</a>
2.7.Reprodução Neutra vs. Manipulada .....	<a href="#">55</a>
2.7.1.Reverberação Assistida .....	<a href="#">57</a>
2.8.A Evolução dos Recursos .....	<a href="#">58</a>
3. RECURSOS II: MÚSICA E ELECTRÓNICA .....	<a href="#">61</a>
3.1.O Telharmonium .....	<a href="#">62</a>
3.1.1.Varèse e o Telharmonium .....	<a href="#">67</a>
3.1.2.Limitações Práticas .....	<a href="#">68</a>
3.2.Electricidade, Electrónica e Instrumentos Musicais .....	<a href="#">70</a>
3.3.O <i>Audion Piano</i> de Lee De Forest e a Invenção do Oscilador Electrónico ...	<a href="#">73</a>
3.4.O Theremin .....	<a href="#">77</a>
3.4.1.Princípios de Funcionamento .....	<a href="#">78</a>
3.4.2.História .....	<a href="#">80</a>
3.4.3.O <i>Theremin Cello</i> .....	<a href="#">83</a>
3.5.René Bertrand e o Dynaphone .....	<a href="#">84</a>
3.6.As Ondes Martenot .....	<a href="#">85</a>
3.7.Os Instrumentos de Givelet e Trautwein .....	<a href="#">88</a>

3.8.O Voder, o Vocoder e a Análise Espectral .....	<a href="#">90</a>
4.EXPLORAÇÃO DE NOVOS RECURSOS .....	<a href="#">94</a>
4.1.Experiências com Discos .....	<a href="#">94</a>
4.2.Sistemas de Reprodução Óptica .....	<a href="#">96</a>
5.VARÈSE II: NA DEMANDA DE NOVOS RECURSOS .....	<a href="#">98</a>
6.OS ESTÚDIOS .....	<a href="#">106</a>
6.1.Paris .....	<a href="#">107</a>
6.2.Köln .....	<a href="#">108</a>
6.3.Eindhoven .....	<a href="#">111</a>
7.O POÈME ELECTRONIQUE .....	<a href="#">116</a>
7.1.O Pavilhão Philips como Instrumento Musical .....	<a href="#">116</a>
7.1.1.O Espaço Interior e a sua Caracterização Acústica .....	<a href="#">116</a>
7.1.1.1.Geometria do interior .....	<a href="#">118</a>
7.1.2.Os Altifalantes e o Sistema de Reprodução .....	<a href="#">131</a>
7.1.3.As Possibilidades de Espacialização: <i>Loudspeaker Groups</i> e <i>Routes du Son</i> .....	<a href="#">133</a>
7.2.A Materialização Sonora do <i>Poème</i> de Varèse .....	<a href="#">139</a>
7.2.1.Condições de Produção e Colaboradores .....	<a href="#">139</a>
7.2.2.«Sound Effects» .....	<a href="#">140</a>
7.2.3.Método de Trabalho .....	<a href="#">142</a>
7.2.3.1.Metalinguagem .....	<a href="#">144</a>
7.2.3.2.Partituras e Esboços .....	<a href="#">145</a>
7.2.4.Alguns Aspectos Sonoros .....	<a href="#">146</a>
7.3.Reavaliando o Significado do Pavilhão Philips e do <i>Poème Electronique</i> ..	<a href="#">147</a>
8.CONCLUSÃO .....	<a href="#">149</a>
BIBLIOGRAFIA .....	<a href="#">153</a>
ANEXO A – O Percurso Biográfico de Varèse: Esquema .....	<a href="#">170</a>
ANEXO B – Escolha de Coeficientes de Absorção e Cálculo de Tempo de Reverberação .....	<a href="#">171</a>
ANEXO C – Esquema dos Sinais de Controlo .....	<a href="#">173</a>
ANEXO D – Interpretação dos Sinais de Controlo .....	<a href="#">174</a>
NOTAS .....	<a href="#">175</a>



## INTRODUÇÃO

Ao escreverem sobre Edgard Varèse, muitos autores incluem alguma expressão de simpatia em relação às dificuldades que o compositor encontrou para obter acesso aos recursos da electrónica – um domínio cujo potencial musical ele apregooou ao longo de décadas. Manning (1993: 5-6), por exemplo, escreve:

Varèse, more than any other composer of his time, pioneered in his instrumental music the aesthetics which were necessary for the acceptance of electronic sound-processing techniques in musical composition. It is thus particularly tragic that it was not until the 1950's, towards the end of his life, that he gained access to the facilities he so fervently desired. [Varèse, mais do que qualquer outro compositor do seu tempo, foi na sua música instrumental o iniciador da estética que seria indispensável à aceitação das técnicas electrónicas de processamento de som na composição musical. É por isso particularmente trágico que só na década de 1950, perto do fim da sua vida, ele tenha obtido acesso às facilidades que tão ferventemente desejara.]

Em 1952 Varèse dispôs pela primeira vez de um gravador de bobines (cf.2.5.3). Dois anos mais tarde teve acesso, durante algumas semanas, aos estúdios do Club d'Éssai, em Paris, para completar as partes em fita magnética de *Déserts* (que mais tarde refez no estúdio da Columbia University em New York). Mas só ao realizar o *Poème Electronique*, em 1957-58, é que ele teve a oportunidade de explorar ao longo de meses as possibilidades de um laboratório amplamente equipado, assistido em permanência por técnicos de electrónica.

O *Poème Electronique* foi concebido como parte daquilo a que hoje chamaríamos um empreendimento multimédia: o *Pavilhão Philips*, integrado na Exposição Universal de Bruxelas, em 1958. Desmantelado no final da exposição – as técnicas de construção não aguentariam o inverno belga (Treib 1996: 227-228) – este pavilhão constituía um verdadeiro instrumento musical: 425 altifalantes, distribuídos pelas superfícies interiores de uma estrutura em betão, reproduziam selectivamente uma gravação em três pistas, permitindo efeitos de

especialização tridimensionais, controlados de forma automatizada. O espaço interior foi concebido com preocupações acústicas por um músico em início de carreira: Iannis Xenakis, que desde 1948 trabalhava como engenheiro / matemático no gabinete de arquitectura de Le Corbusier, a quem a Philips tinha encomendado o projecto. Na prática, embora a concepção global do pavilhão, incluindo o nome *Poème Electronique* (aplicável a todo o projecto e não apenas ao contributo de Varèse) tenha partido de Le Corbusier, este acabou por se concentrar na concepção do espectáculo de luz, côr e imagem que era projectado no interior.

A forma que tomaram as várias componentes do pavilhão Philips, bem como o historial da sua concepção e realização, são abordadas em detalhe por Treib (1996). Quanto à componente sonora do *Poème Electronique*, ela sobreviveu a partir de duas fontes:

1. Uma mistura para quatro pistas realizada no início da década de 1960, conhecida como *master* e divulgada através de gravações em disco de vinil e CD, dos quais o mais comum actualmente é uma mistura estéreo publicada pela Decca, integrada num duplo álbum com a obra completa de Varèse (Chailly 1998).
2. Uma reconstrução digital realizada a partir das três fitas originais mono por Kees Tazelaar (Sonology 2001), que descobriu estas fitas (entretanto consideradas perdidas) no *Institut voor Sonologie*<sup>1</sup>

Na minha perspectiva, a diferença que há entre a experiência vivenciada pelos dois milhões de visitantes do Pavilhão Philips e qualquer uma destas gravações é comparável à que existe entre ouvir Sweelink num piano afinado em temperamento igual e num cravo Ruckers em afinação mesotónica. O *Poème Electronique* de Varèse é um paradigma de obra concebida especificamente para um determinado instrumento e um determinado espaço – sendo que neste caso o espaço e o instrumento se chegam a confundir.<sup>2</sup>

A questão dos recursos é central no *Poème Electronique*, tornando-se urgente para uma compreensão cabal da obra o estudo do *Pavilhão Philips* em contexto. No âmbito da presente investigação, esse estudo foi centrado em três pontos: as possibilidades de espacialização (a mais idiossincrática das suas características), as características acústicas do espaço e a caracterização técnica do equipamento de reprodução. As questões centrais que coloquei foram as seguintes:

1. Em que medida as possibilidades e limitações dos recursos disponibilizados para a realização material da componente sonora do *Poème Electronique* satisfaziam as necessidades e iam ao encontro dos ideais sonoros de Varèse?
2. A disponibilização de recursos, não apenas no momento de realizar o *Poème* mas ao longo da carreira de Varèse, influenciou o modelo sonoro idealizado pelo compositor?
3. Em que medida a materialização do *Poème Electronique*, correspondeu ao que Varèse idealizara – quer como concepção, quer como resultado sonoro?

Subordinadas a estas, outras questões se foram colocando naturalmente: Quais as necessidades de Varèse em termos de recursos electroacústicos? Quais os esforços que Varèse desenvolveu no sentido de obter acesso a recursos específicos? Em que medida Varèse tinha consciência das reais possibilidades dos recursos a que tentava aceder? Quais os recursos electroacústicos que se tornaram disponíveis ao longo do tempo em que a carreira de Varèse se desenvolveu? Que interrelação existiu entre esses recursos, os seus criadores e as suas aplicações, por um lado, e o percurso pessoal e profissional de Varèse, por outro? Quais as possibilidades do *Pavilhão Philips* enquanto instrumento musical? Em que é que as facilidades disponibilizadas a Varèse em Eindhoven se distinguem das que existiam em Paris e Köln? Em que medida o laboratório / estúdio de Eindhoven veio ao encontro das necessidades de Varèse e / ou influenciou o resultado material do *Poème Electronique*?

A metodologia adoptada baseou-se em:

1. Análise factual do caso em estudo
  - 1.1. Geometria e aspectos da construção do *Poème* (maquete, criação e análise de um modelo topográfico / geométrico).
  - 1.2. Análise do produto sonoro: especificamente, foram analisados em pormenor os materiais sonoros empregues ao longo da obra, recorrendo à análise do ficheiro digitalizado da reconstrução de Tazelaar.

2. Levantamentos bibliográficos, incluindo fontes www, nos seguintes domínios:

2.1. Percurso biográfico de Varèse.

2.2. Estética e ideais sonoros de Varèse.

2.3. História dos recursos electroacústicos, cronologicamente rigorosa.

2.4. História dos instrumentos electrónicos, factual e cronologicamente rigorosa.

2.5. O *Pavilhão Philips*: forma, equipamento técnico e recursos.

Uma dissertação escrita obriga a uma estruturação sequencial. Optei por começar o presente texto com uma síntese biográfica de Varèse, realçando o contexto cultural e estético em que ele se moveu (1.1), bem como os ideais estéticos que assumiu (1.2). No plano biográfico baseei-me nos trabalhos de Vivier (1973) e MacDonald (2003). No plano estético a minha opção foi dar a palavra a Varèse e comentar as implicações das suas afirmações.

O recurso a páginas www foi imprescindível à elaboração dos capítulos 2 e 3, mas levantou problemas heurísticos. Uma fase importante da investigação consistiu assim em avaliar a credibilidade e o rigor de cada fonte através do confronto entre um número elevado de páginas www de vários autores, bem como fontes impressas que referiam os mesmos assuntos: foi deste modo possível atribuir uma credibilidade elevada aos dados factuais apresentados por Schoenherr (1999, 2001, 2001a, 2002, 2002a), que se tornou uma fonte preferencial em muitos casos. A obra de White (1995), sob a forma de dicionário, mereceu um rastreio exaustivo, da primeira à última página: no meio de artigos insuspeitos pude encontrar numerosos dados históricos (algo raro em obras que lidam com áudio ou com electrónica, geralmente mais viradas para a aplicação prática imediata das tecnologias mais actuais), bem como pistas que me conduziram frequentemente a descobertas úteis. As entrevistas da série «Oral Histories», do IEEE (Beranek 1996, Olson 1975, Sanner 1999, Wolff 1976) forneceram testemunhos directos de alguns dos principais intervenientes na evolução da tecnologia de áudio. As páginas www do site Obsolete (apesar de os seus autores não estarem identificados) revelaram-se mais rigorosas e detalhadas que algumas fontes em formato tradicional.

Os capítulos 2 e 3 tornaram-se o núcleo central desta dissertação, fornecendo um panorama à luz do qual quer a carreira de Varèse, quer a história da música electrónica, não têm sido, na minha opinião, devidamente avaliadas. Considero a informação aqui contida, compilada de uma grande diversidade de fontes, um contributo para colmatar a inexistência

de um estudo de referência sobre a história dos recursos electroacústicos: Chadabe (1997), Holmes (2002) e Manning (1993) apresentam-nos panorâmicas muito pertinentes no que toca à história dos instrumentos electrónicos e dos estúdios, mas insuficientes, no plano factual, para o tipo de contextualização que necessitei. Para avaliar com rigor as possibilidades e limitações de dispositivos e equipamentos foi necessário entrar em detalhes técnicos. Tendo em conta que esta dissertação se enquadra no domínio da música, julguei conveniente incluir algumas definições e esclarecimentos que permitam ao leitor menos versado no domínio da electrónica seguir e avaliar criticamente a argumentação.

A história dos recursos electroacústicos (equipamento de áudio ou instrumentos musicais) é sujeita a confusões frequentes relacionadas com a escassez de iconografia e com a sua insuficiente documentação: instrumentos como as *ondes martenot* são em geral associados a imagens de uma versão relativamente tardia do instrumento; alterações morfológicas de monta são por vezes ignoradas. A observação de fotografias devidamente documentadas pode fornecer-nos indicações úteis sobre o equipamento disponível numa dada época. Recolhi imagens datadas dos dispositivos e equipamentos referidos nos caps. 2 e 3 que, por uma questão de funcionalidade, preferi integrar no corpo do texto e não em anexo.

Estabelecida a história dos recursos, abordei no cap. 4 o modo como alguns deles foram explorados criativamente para fins diversos daqueles para que tinham sido originalmente concebidos. No cap. 5 descrevi e analisei a natureza dos esforços de Varèse no sentido de obter recursos. Realizei um levantamento dos recursos materiais disponíveis nos estúdios de Paris, Köln e Eindhoven na década de 1950 (cap.6), para de seguida abordar especificamente o Pavilhão Philips, os seus recursos e o modo como foram aproveitados na composição do *Poème* (cap.7). Muitas conclusões pontuais são tomadas ao longo destes capítulos, pelo que o cap.8 contém apenas algumas linhas de força e reflexões que pretendi salientar ao concluir esta fase de investigação.

As fontes a que recorri – primárias ou secundárias – estão na sua quase totalidade em línguas diversas da que uso para redigir este texto. Para evitar a distorção inerente a qualquer tradução, sem contudo retirar a comodidade ao leitor, optei por conservar em todas as citações o texto na língua em que a ele acedi (mesmo quando já se trata de uma tradução), seguido, entre parêntesis recto, da tradução para português. Em todos os casos estas traduções – tanto quanto possível literais – são da minha responsabilidade. Expandi este critério aos termos

técnicos, onde frequentemente conservei a forma da língua em que surgiram (acompanhada pela respectiva tradução entre parêntesis recto). Por uma questão de coerência, mantive preferencialmente na ortografia das línguas originais os nomes de cidades e instituições. Para simplificar a exposição, as referências a datas ambíguas são feitas por vezes através de formas abreviadas: p. ex., 12/1913 significa Dezembro de 1913. As referências a passagens concretas do *Poème* baseam-se no tempo em segundos desde o início da faixa, tomando como referência a reconstrução de Tazelaar.<sup>3</sup>

## 1.VARÈSE I: CONTEXTO E ESTÉTICA

Vozes no espaço, como se mãos mágicas, invisíveis, estivessem a ligar e a desligar rádios fantásticos, penetrando-se umas às outras, dividindo-se, sobrepondo-se, repelindo-se, colidindo, esmagando-se. (projecto de Varèse para *Espace*, in Miller 1971: 151)

No seu conjunto, as composições que Varèse nos legou não são numerosas nem extensas, sobretudo para quem viveu quase 82 anos. Malcolm MacDonald (2003), ao apresentar cada uma dessas obras (as que sobreviveram e as que se perderam, não foram completadas ou não passaram de projectos), coloca em evidência a complexidade e a intensidade do processo de génese de cada obra específica, revelando-nos um Varèse perfeccionista, para quem o menor detalhe parece ser o produto de uma dedicação quase total.

Paralelamente à sua produção como compositor Varèse expôs, em conferências, entrevistas e projectos – muitos dos quais sobreviveram sob forma escrita – as suas ideias sobre a música. Nestes textos encontramos referências às suas necessidades enquanto criador e investigador, aos recursos que satisfariam essas necessidades e à forma prática de a eles ser dado acesso ao artista criativo.

Um dos aspectos mais notáveis dos escritos de Varèse é a coerência do seu discurso: muitas das ideias que defende no fim da vida são apenas ligeiras reelaborações de observações que fez nos primeiros anos após a sua chegada aos EUA, em fins de 1915. Resultado dessa coerência é a tendência que existe na literatura para que o pensamento de Varèse seja visto em bloco, independentemente do tempo em que cada ideia foi exposta pela primeira vez. Porém, encará-lo desta forma é ignorar as pequenas nuances do discurso de Varèse e a atenção que ele constantemente foi prestando aos avanços tecnológicos que se desenrolavam à sua volta.

Antes de abordar alguns aspectos do seu discurso convém criar um enquadramento biográfico: só assim será possível, nos capítulos que se seguem, relacionar Varèse e o seu pensamento com os recursos, especialmente no domínio da electrónica, que ao longo das

primeiras décadas do séc.XX técnicos e engenheiros foram conhecendo e aprendendo a dominar.

## 1.1.Enquadramento Biográfico

Para compreendermos o percurso biográfico de Varèse, do ponto de vista relevante para o que aqui me proponho investigar, interessa em primeiro lugar compreender o seu percurso geográfico. O anexo A representa graficamente uma cronologia deste percurso, baseada em MacDonald (2003), Vivier (1973) e Davies (2001b).

Podemos distinguir na vida e na carreira de Varèse duas fases: a primeira passada na Europa, a segunda nos EUA, onde chegou a 29/12/1915 (embora nesta segunda fase visite frequentemente a Europa).

Varèse nasceu em Paris (22/12/1883) mas passou a sua infância em Le Villars (Bourgogne), Paris e Torino. Nesta cidade, sob pressão do pai, preparou-se para seguir um curso de engenharia, em que não veio a ingressar. Começou também a estudar música particularmente. Em 1903, cortando definitivamente relações com o pai, fugiu para Paris, onde estudou primeiro na *Schola Cantorum* e depois no *Conservatoire*. No domínio da música antiga, o seu trabalho com Charles Bordes na *Schola Cantorum* veio a influenciar parte da sua carreira posterior como maestro de coros: a par de obras como a *Grande Messe des Morts* de Berlioz, Varèse dirigiu com frequência obras da Idade Média ao séc.XVII.

Tal como Debussy, com quem desde 1909 manteve uma relação de amizade, Varèse abominava o academismo das escolas de música, acabando por abandonar o *Conservatoire*. Também como Debussy, o seu círculo de relações não era exclusivamente musical, abrangendo artistas plásticos (trabalhou algum tempo como secretário de Rodin, apresentou Pablo Picasso a Jean Cocteau), escritores (compartilhou a casa com alguns poetas, a sua segunda esposa Louise Norton/Varèse era escritora e tradutora, entre as suas relações encontravam-se Henry Miller e Anaïs Nin) e cientistas (o paralelo e a analogia entre ciência e arte é uma ideia que desenvolveu em particular a partir da década de 1930).



Outra personalidade muito influente na sua vida foi o pianista e compositor Ferruccio Busoni, que conheceu em Berlim e com quem manteve amizade até à morte deste, em 1924. Quando se conheceram Busoni tinha acabado de publicar a primeira edição do seu ensaio *Entwurfeiner neuen Ästhetik der Tonkunst* [*Projecto de uma Nova Estética da Arte dos Sons*], em que fazia propostas específicas de exploração de novos recursos sonoros: a frase «frei ist die Tonkunst geboren und frei zu werden ihre Bestimmung» [livre nasceu a arte dos sons e tornar-se livre é o seu destino] (Busoni 1916: 2), que epitomiza os ideais expressos ao longo do ensaio, poderia ser visto como lema do próprio Varèse.

Regressando a Paris no início da I Guerra Mundial, Varèse foi mobilizado, mas devido a uma dupla pneumonia passou em breve à disponibilidade, decidindo tentar a sua sorte nos EUA, onde durante a década de 1920 se empenhou na produção e divulgação da música de vanguarda, como maestro e como fundador de várias instituições com este objectivo. Compôs e apresentou as primeiras obras do que ele considerava ser uma nova fase da sua carreira: *Amériques* (1918-21, estr.09/04/1926 sob a direcção de Leopold Stokowski), para orquestra, em que introduz pela primeira vez sirenes, *Offrandes* (1921, estr. 1922), *Hyperprism* (1922-23, estr.1923), *Octandre* (1923, estr.1924), *Intégrales* (1924-25, estr. 01/03/1925, dir. Stokowski) e *Arcana* (1925-27, estr. 08/04/1927, dir. Stokowski). Do ponto de vista dos recursos, nestas obras começou a explorar instrumentações pouco convencionais, com ênfase nos instrumentos de sopro e percussão (em detrimento das cordas).

De 10/10/1928 a 27/09/1933 trocou New York por Paris, estabelecendo contactos e conhecendo inovações importantes ao nível dos instrumentos electrónicos. Em Paris compôs *Ionization* (1929-31; estr. 06/03/1933). Foi já em New York que concluiu *Equatorial* (1932-34, estr. 15/04/1934), em que pela primeira vez compôs expressamente para instrumentos electrónicos (variantes do *cello theremin*; cf. 3.4.3), e escreveu *Density 21.5* (1936, estr. 16/02/1936).

Num artigo recente, Paraskevaïdis (2004:3) observa a pouca atenção que a musicologia europeia e norte-americana tem concedido «to Varèse's knowledge of Latin American music and acquaintance and friendship not only with Latin American musicians, but also Latin American artists and writers. In the best of cases, these circumstances have been usually underestimated as secondary» [ao conhecimento de Varèse da música latino-americana e ao conhecimento e amizade não apenas com músicos latino-americanos mas também com

artistas e escritores latino-americanos. Quando muito, estas circunstâncias têm sido subestimadas como secundárias]. Em *Equatorial* (1934) Varèse usou uma tradução espanhola do séc.XV de um texto Maia. A *Pan American Association of Composers*, que Varèse fundou em 1928 juntamente com Carlos Chávez e Henry Cowell, incluía compositores do Brasil (Villa-Lobos, com quem Varèse manteria uma relação muito próxima), Argentina, Uruguai, Chile, Cuba e México (Paraskevaïdis 2004: 3-4). O próprio nome desta associação remete-nos para o título da primeira obra «americana» de Varèse: *Amériques*, no plural.

Dado o seu percurso biográfico, para além do francês (língua materna) Varèse dominaria o italiano (do tempo que viveu em Torino), o alemão (dos anos de Berlim), o inglês (que, segundo Vivier, sempre falou pouco à vontade e com algum sotaque) e possivelmente o espanhol. O facto de ele ser um poliglota é no meu entender uma das facetas do que considero o traço mais relevante na sua personalidade: a sua vontade de absorver diferentes culturas e diferentes maneiras de pensar, a sua receptividade e abertura mental, o seu pensamento universalista.

Desde os últimos anos da década de 1920 até fins da década de 1940 Varèse trabalhou em dois projectos inacabados, *The One All Alone* e *Espace*. Este último projecto, de que apenas chegou a concluir um esboço (*Étude pour Espace*, 23/02/1947), envolvia execuções simultâneas em diversas partes do mundo e em diversas línguas, unidas pela rádio. Ao longo deste período Varèse realizou conferências, deu aulas, dirigiu coros e prosseguiu esforços para obter acesso a um laboratório ou estúdio para realizar experiências no domínio da electroacústica (cf. cap.5).

O acesso aos recursos que pretendia só lhe foi facultado na década de 1950: em 1952 obteve um gravador de bobinas, que foi instalado num pequeno estúdio em sua casa, e em 1954 foi convidado por Pierre Schaeffer para concluir no estúdio do *Club d'Essai* (Paris) três interpolações para fita magnética da obra *Déserts* (1954). Esta obra tinha quatro secções orquestrais entre as quais eram usados três excertos de «som organizado» (cf.1.2).

O último projecto que Varèse concluiu foi o *Poème Electronique*.<sup>4</sup> Em 1956, ao planear a participação da Philips na Exposição Universal de Bruxelas de 1958, o director artístico da empresa, Louis Kalff, teve a ideia de, em vez de exhibir os produtos que a Philips comercializava, produzir uma obra de arte multidisciplinar que mostrasse as possibilidades da tecnologia em que esse produtos se baseavam. Para isso contactou o arquitecto Le Corbusier,

que afirmou: «je ne vous ferai pas un pavillion, je vous ferai un poème électronique» [não vos farei um pavilhão, far-vos-ei um poema electrónico] (Matossian 1981: 129). Le Corbusier fez questão de que a parte musical fosse composta por Edgard Varèse, apesar de fortes resistências por parte da Philips, e confiou a Xenakis a maior parte do projecto do pavilhão propriamente dito, concentrando-se progressivamente, à medida que o projecto avançava, na componente visual que se desenrolaria no interior.<sup>5</sup>

Entre 02/09/1957 e 06/1958 Varèse residiu em Eindhoven, a fim de materializar a componente sonora do *Poème Electronique* no estúdio-laboratório montado para o efeito no NatLab, o laboratório de investigação da Philips, com a colaboração de técnicos da empresa – em particular Willem Tak, um engenheiro especialista em acústica, e Jan W. De Bruin, que já colaborara antes no bailado electrónico *Abel en Cain* (1956), de Henk Badings (cf.6.3). Dada a envergadura do projecto e o elevado orçamento envolvido, Varèse teve pela única vez na sua vida acesso a uma gama de facilidades electroacústicas limitada quase só pela tecnologia disponível.

## 1.2.Ideais Estéticos

O trabalho de Varèse no *Poème Electronique* é visto frequentemente como a satisfação final de tudo aquilo com que ele sonhara durante trinta ou quarenta anos. Para avaliarmos a legitimidade desta ideia precisamos de compreender o que é que Varèse procurava, em termos de recursos e em termos de música.

Em 1955, numa das entrevistas radiofónicas que concedeu a Charbonnier (1970: 36), Varèse afirmava sobre a definição de Hoëne Wronsky<sup>6</sup> para a música: «pour moi, c'est de tous les définitions que je connais, la plus valable: La corporification de l'intelligence qui est dans les sons» [Para mim, de todas as definições que eu conheço, é a mais válida: a corporealização da inteligência que existe nos sons]. Esta ideia não é nova: na realidade, a referência a este conceito é uma das constantes de Varèse, traduzindo a concepção do som – com a sua estrutura e individualidade próprias – como o elemento que conduz à macro-estruturação da

obra. Não é estranho por isso que Varèse conceda tanta importância à consciência de que o som é um fenómeno físico, e que é em termos físicos que devemos investigar a sua estrutura:

«Depuis que la musique existe, c'est du son. Le son, comme l'homme, est une chose que ne peut vivre, exister, que dans le domaine atmosphérique. Quand l'homme a entendu le son du premier choc, un son frappait son oreille. Or nous avons tendance à limiter la musique à ce qui est exprimé, sur le papier, par les symboles très imparfaits et très arbitraires qui sont les nôtres. [Desde que a música existe, ela é som. O som, como o homem, é uma coisa que não pode viver, existir, senão no domínio da atmosfera. Quando o homem ouviu o som do primeiro choque, um som atingia o seu ouvido. Ora nós temos tendência a limitar a música ao que é expresso, no papel, por símbolos muito imperfeitos e muito arbitrários que são os nossos.] (Charbonnier 1970: 35-36)

Depois de afirmar acreditar que no futuro toda a música será produzida pela máquina, e que o instrumentista se tornará dispensável e desaparecerá (excepto para os que vivem no passado), Varèse afirma que:

Dans le présent demeure l'ingénieur du son, les ingénieurs chargés de la préparation, le compositeur (auteur du *blue-print*) et celui qui traduira en opérations électro-acoustiques les indications du graphique, enfin l'auditeur. L'auditeur, en ce qui le concerne, fait le métier qu'il veut, mais en tant qu'auditeur il entendra disposer de la musique comme il dispose du texte grâce au livre. [No presente existe o engenheiro do som, os engenheiros encarregados da preparação, o compositor (autor do *blue-print*) e aquele que traduzirá em operações electroacústicas as indicações do gráfico, finalmente o ouvinte. O ouvinte, no que lhe toca, tem a profissão que quiser, mas enquanto ouvinte ele disporá da música como dispõe de um texto graças ao livro.] (Charbonnier 1970: 51)

Como solução, logo após a sua chegada aos EUA, numa entrevista ao *New York Telegraph* (1916), ele propunha novos recursos:

What I am looking for are new technical means which can lead themselves to every expression of thought. [O que eu procuro são novos meios técnicos que se prestem a toda e qualquer expressão do pensamento.] (Manning 1993: 6)

No ano seguinte (05/06/1917), na revista *391* (editada por Picabia) escrevia:

I dream of instruments obedient to my thought and which with their contribution of a whole new world of unsuspected sounds, will lend themselves to the exigences of my inner rhythm. [Eu sonho com instrumentos obedientes ao meu pensamento e que, com o seu contributo para um novo mundo de sons de que nem sequer se suspeitava, se prestarão às exigências do meu ritmo interior.] (Schwartz e Childs 1998: 196)

Há uma nuance subtil entre estas afirmações – a busca de «novos meios técnicos» em 1916, de instrumentos «obedientes ao meu pensamento» em 1917 – e a referência explícita, como solução, aos recursos electrónicos,<sup>7</sup> que se encontra pela primeira vez em 1922, numa entrevista ao *Christian Science Monitor*:

What we want is an instrument that will give us continuous sound at any pitch. The composer and electrician will have to labour together to get it. [...] Speed and synthesis are characteristics of our epoch. [O que pretendemos é um instrumento que nos dê som contínuo a qualquer altura. O compositor e o técnico de electricidade terão de trabalhar juntos para o conseguir. (...) A velocidade e a síntese são características da nossa época.] (Manning 1993: 6)

A ideia de que «o compositor e o técnico terão de trabalhar juntos» está na raiz de uma sistematização mais abrangente, que dominará o pensamento posterior de Varèse. Num conferência proferida em 1936 na *Mary Austin House*, em Santa Fe (New Mexico) ele exprime pela primeira vez de forma explícita a importância da união entre ciência e arte.

[...] throwing new light on nature, science permits music to progress – or rather to grow and change with changing times – by revealing to our senses harmonies and sensations before unfelt. On the threshold of beauty science and art collaborate. [(...) lançando uma nova luz sobre a natureza, a ciência permite que a música progrida – ou melhor, que cresça e se altere com os tempos que mudam – ao revelar aos nossos sentidos harmonias e sensações anteriormente não sentidos. No limiar da beleza, ciência e arte colaboram.] (Varèse 1936: 196)

Foi ainda na mesma conferência que Varèse referiu pela primeira vez algo que só veio a ver realizado de forma literal no *Poème Electronique*: a *projecção espacial do som*:

We have actually three dimensions in music: horizontal, vertical, and dynamic swelling or decreasing. I shall add a fourth, sound projection – that feeling that sound is leaving us with no hope of being reflected back, a feeling akin to that aroused by

beams of light sent forth by a powerfull searchlight – for the ear as for the eye, that sense of projection, of a journey into space. [Nós temos na realidade três dimensões na música; horizontal, vertical, e o aumento ou diminuição dinâmicos. Eu acrescentarei um quarto, a projecção sonora – essa sensação de que o som nos vai deixar sem esperança de ser reflectido de volta, uma sensação próxima da que é despertada por feixes de luz que são projectados por uma lanterna potente – para o ouvido como para a visão, essa sensação de projecção, de uma viagem para dentro do espaço.] (Varèse 1936: 197)

Quando em 1917 Varèse dizia sonhar com instrumentos obedientes ao seu pensamento ele adquiria o tom profético do sonhador que imagina uma utopia – literalmente, um local que não existe, idealmente perfeito. Ao longo da conferência de 1936 este tom reaparece:

When new instruments will allow me to write music as I concieve it, the movement of sound-masses, of shifting planes, will be clearly perceived in my work, taking the place of the linear counterpoint. When these sound-masses collide, the phenomena of penetration or repulsion will seem to occur. Certain transmutations taking place on certain planes will seem to be projected onto other planes, moving at different speeds and at different angles. There will no longer be the old conception of melody or interplay of melodies. The entire work will be a melodic totality. The entire work will flow as a river flows. [Quando novos instrumentos me permitirem escrever música como eu a concebo, o movimento das massas sonoras, de planos que se alteram, será claramente perceptível no meu trabalho, tomando o lugar do contraponto linear. Quando essas massas sonoras colidem, ter-se-á a sensação de ocorrerem os fenómenos de penetração ou repulsão. Certas transmutações que se dão em certos planos irão parecer ser projectadas noutros planos, movendo-se a diferentes planos e a diferentes ângulos. Não haverá mais a velha concepção de melodia ou interacção de melodias.] (Schwartz e Childs 1998: 197)

Varèse enumera as inovações formais que advirão quando se concretizar a sua profecia de «novos instrumentos», descrevendo – em termos de futuro – a sua utopia. O texto seguinte apresenta – em termos de presente, pois é uma obra de ficção – um outro cenário utópico, em que se encontram situações de experimentação que sugerem o tipo de laboratórios que Varèse, para encontrar os seus «novos instrumentos», pretendia criar (cf. cap. 5):

We have also sound-houses, where we practise and demonstrate all sounds and their generation. We have harmony which you have not, of quarter-sounds and lesser slides of sounds. Divers instruments of music likewise to you unknown, some sweeter than any you have; with bells and rings that are dainty and sweet. We represent small sounds as great and deep, likewise great sounds extenuate and sharp; we make divers

tremblings and warblings of sounds, which in their original are entire. We represent and imitate all articulate sounds and letters, and the voices and notes of beasts and birds. We have certain helps which, set to the ear, do further the hearing greatly; we have also divers strange and artificial echoes, reflecting the voice many times, and, as it were, tossing it; and some that give back the voice louder than it came, some shriller and some deeper; yea, some rendering the voice, differing in the letters or articulate sound from that they receive. We have all means to convey sounds in trunks and pipes, in strange lines and distances. [Temos também casas de som, em que praticamos e demonstramos todos os sons e a sua geração. Temos harmonia que vós não tendes, de quartos de tom e desvios (glissandos) ainda mais pequenos de sons. Diversos instrumentos de música que igualmente desconheceis, alguns dos quais mais doces do que qualquer dos que tendes; com sinos e campainhas que são delicados e doces. Representamos sons pequenos como grandes e profundos, e igualmente sons grandes como ténues e agudos; produzimos diversos trémulos e flutuações de sons, que no seu original são inteiros. Representamos e imitamos todos os sons articulados e letras, e as vozes e notas dos animais e pássaros. Temos certos auxiliares que, colocados no ouvido, levam mais longe a audição; temos também diversos ecos estranhos e artificiais, reflectindo a voz muitas vezes, e como que projectando-a; e alguns que devolvem a voz mais forte do que veio, alguns mais estridente e alguns mais profunda; ou ainda alguns transformando a voz, tornando-a diferente nas letras ou som articulado em relação ao que recebem. Temos todos os meios de transmitir sons em malas e tubos, através de linhas estranhas e à distância.] (Bacon 1626: 12)

Este texto fôra escrito trezentos anos antes do de Varèse. O seu autor era não um músico mas um um chanceler, filósofo e político inglês chamado Francis Bacon. Faz parte do seu livro *The New Atlantis* [A nova Atlântida], em que o autor descreve uma sociedade ideal em que um elemento central é o «Templo de Salomão», um conjunto de «casas» dedicadas a diversos ramos de investigação experimental.

O texto de Bacon é profético relativamente a várias linhas de experimentação associadas à música concreta e electrónica do séc.XX. Ele foi usado, por exemplo, como epígrafe a um livro sobre música (Jenkins e Smith 1974: 8) e como elemento inspirador de uma exposição retrospectiva da música electroacústica promovida pela Bienal de Veneza, com o título «Nuova Atlantide - il Continente della Musica Elettronica 1900-1986» (Bennet 1990).

As «casas de som» eram, na época de Bacon, apenas uma utopia:<sup>8</sup> os recursos necessários para a transformarem em realidade só se tornaram disponíveis três séculos depois, graças à electrónica. É a análise da evolução desses recursos, bem como as suas limitações em cada fase da história do séc.XX, que constituirá o objecto dos capítulos seguintes.

## 2.RECURSOS I: ACÚSTICA E ELECTRÓNICA

No capítulo anterior apreciámos a importância concedida por Varèse ao som enquanto fenómeno físico. Vimos a sua preferência pela expressão *som organizado* em vez de *música*. Dentro da perspectiva varesiana, qualquer dispositivo capaz de auxiliar o músico a controlar, a *organizar* os sons – fenómenos físicos – com que escolhe trabalhar é um *instrumento*.

Desde as últimas décadas do séc.XIX foram desenvolvidos aparelhos capazes de manipular o som, transmitindo-o à distância ou registando-o para posterior reprodução. Embora muitos se baseassem em dispositivos eléctricos ou electrónicos originalmente concebidos para transmitir / registar a voz humana, a sua qualidade sonora foi-se progressivamente adaptando a outros fins.

Para abordarmos a relação entre recursos, ideais e obra – o objecto de análise desta dissertação – é indispensável compreendermos a história destes aparelhos, e em particular dos que recorrem às possibilidades da electrónica, o domínio em que a partir de 1922 Varèse viu o potencial de satisfazer as suas necessidades criadoras. O objecto do presente capítulo é traçar uma história destes recursos e da sua evolução, revelando as possibilidades e limitações que cada recurso apresentava em cada fase histórica do seu desenvolvimento. Só assim poderemos compreender o contexto em que foi composto o *Poème Electronique* e verificar até que ponto se aplica neste caso a máxima expressa em 1910 por Kandinsky (1999: 21): «toda a obra é filha do seu tempo».



## 2.1.Sistemas Telefónicos: Os Primeiros Transdutores

We have all means to convey sounds in strange lines and distances [Temos todos os meios para transmitir sons, através de linhas estranhas e à distância] (Bacon 1626: 12)

Um dos primeiros transdutores capazes de converter sons em sinais eléctricos foi o microfone de carvão, inventado por Edison (White 1995: 50). Este tipo de transdutor é constituído por grânulos de carvão (substância com uma resistividade eléctrica média) entre duas placas metálicas (boas condutoras eléctricas), uma das quais pode vibrar. A resistência eléctrica varia com a quantidade de grânulos que separam em cada instante as duas placas, que por sua vez depende da pressão instantânea do ar (cujas variações constituem o som). Assim, quando é aplicada aos terminais deste microfone uma tensão eléctrica, a corrente que o atravessa aumenta ou diminui de uma forma que representa o sinal sonoro. Aumentando a tensão eléctrica a magnitude das variações é mais elevada. O microfone de carvão não exigia realmente amplificação: bastava aumentar (dentro de certos limites) a tensão que lhe era aplicada e obtinha-se a corrente necessária.

Para converter o sinal eléctrico de novo em som era necessário um outro transdutor com funcionalidade inversa: que convertesse as variações da corrente que atravessava o microfone em variações de pressão do ar. O primeiro dispositivo capaz desta função foi concebido originalmente por Ernst W. Siemens, que em 1874 patenteou um «magneto-electric apparatus [...] obtaining the mechanical movement of an electrical coil from electrical currents transmitted through it» [aparelho electro-magnético (...) que produz o movimento mecânico de uma bobina eléctrica a partir de correntes transmitidas através dela] (Schoenherr 2001).

A base do funcionamento deste tipo de dispositivos é o facto de um condutor, quando atravessado por uma corrente eléctrica, produzir um campo magnético cujo sentido e magnitude dependem do sentido e intensidade da corrente. Objectos que produzem campos magnéticos atraem-se ou repelem-se conforme as suas polaridades (sentidos do campo magnético) são opostas ou idênticas. Logo, um condutor que, sujeito a um campo magnético, fôr atravessado por uma corrente eléctrica, exercerá contra esse campo forças de atracção ou

repulsão aproximadamente proporcionais<sup>9</sup> à corrente que o atravessar. Essas forças, acelerando-o, imprimir-lhe-ão movimento. Note-se que o campo magnético pode ser o produzido por uma outra bobina atravessada por uma corrente eléctrica ou por um íman fixo. Contudo, a utilização de ímanes fixos só se foi tornando viável à medida que foram sendo descobertos materiais magnéticos mais potentes (cf. 2.4).

Em 1876 Bell usou um transdutor análogo ao de Siemens para fins acústicos no telefone, e no ano seguinte Siemens registou uma variante da sua invenção, em que um diafragma de pergaminho é acoplado à bobina e prolongado por uma campânula exponencial (Schoenherr 2001).<sup>10</sup> Esta forma de campânula é particularmente eficaz na produção de um padrão de radiação altamente direccionado, evitando a dispersão do sinal. Além disso, é a forma ideal para adaptar a impedância elevada do diafragma do transdutor à impedância muito inferior do ar, evitando as reflexões de energia que ocorrem quando o som transita entre meios com impedâncias muito diferentes, e que dificultariam a radiação para o exterior. Esta forma rentabilizava assim a limitada potência acústica disponível nestes transdutores, o que era extremamente importante numa época em que a amplificação de sinais eléctricos não existia.

Note-se que o telefone tinha sido concebido para transmitir a voz, mas isto não impediu que, mesmo nos seus primórdios, ele fosse explorado para transmitir concertos. Em 1881 foram realizadas transmissões telefónicas da Ópera de Paris para uma sala da *Primeira Exposição da Electricidade* (cf. 2.6). Três anos depois uma notícia na *Scientific American* (1884) relata que os reis de Portugal, de luto pela morte da princesa da Saxónia, pretendendo assistir à estreia da ópera *Lauriana*<sup>11</sup> mas não se podendo deslocar ao teatro por motivos de etiqueta, haviam mandado colocar em frente ao palco seis emissores telefónicos (cada um alimentado por um de três conjuntos de baterias, que eram substituídas de 20 em 20 minutos) ligados a seis receptores colocados no palácio para uso da família real.

Entre a invenção de Siemens e a década de 1920 diversas patentes introduziram melhorias no desenho de altifalantes – p. ex., o emprego de um cone de cartão como diafragma ou sistemas destinados a manter a bobina centrada (Schoenherr 2001). A partir de 1915 – o ano em que Varèse chegou aos EUA – foi iniciado nos laboratórios da AT&T um programa de investigação, orientado inicialmente por Harold D. Arnold e mais tarde por Joseph P. Maxfield, com o objectivo de melhorar a qualidade das gravações de áudio. A AT&T veio mais tarde a chamar-se Bell Telephone Co. – é esse o nome que tinha quando, por volta de

1930, Varèse tentou obter acesso aos seus laboratórios (cf. cap. 5), geralmente conhecidos por *Bell Labs*, através de Harvey Fletcher, que entretando sucedera a Maxfield como director de investigação.

O programa de Maxfield tinha a seguinte ordem de prioridades:

- 1ª – amplificadores, usando «a nova válvula de vácuo»;
- 2ª – microfones;
- 3ª – altifalantes (Schoenherr 1999).

## 2.2.A «Nova Válvula de Vácuo», ou *Audion*

Para amplificar um sinal eléctrico é necessário um dispositivo que permita que à sua saída haja uma corrente proporcional a uma corrente ou tensão eléctrica que se aplica à sua entrada, mas envolvendo uma potência mais elevada. O primeiro componente electrónico capaz de desempenhar esta função foi o *audion*, a válvula patenteada em 1906 por Lee De Forest (White 1995: 25), posteriormente conhecida como *tríodo* [*triode*].<sup>12</sup>

É com o *audion* que podemos começar a falar de dispositivos *electrónicos* e não apenas *eléctricos*. A distinção é subtil e não totalmente objectiva. A electrónica é um subdomínio da electricidade que lida com o controlo do fluxo de electrões através de dispositivos como:

1. Resistências, condensadores e bobinas (que limitam a passagem de correntes eléctricas, de forma independente da frequência no primeiro caso e dependente nos restantes).
2. Dispositivos rectificadores (que apenas deixam passar a corrente num sentido) e/ou amplificadores<sup>13</sup> (que controlam uma corrente através de uma outra corrente mais fraca, ou de uma tensão), como as válvulas termiónicas (díodos, tríodos, pêntodos, etc.) ou os semicondutores (díodos semicondutores, diferentes tipos de transístores).

Por oposição a *electrónica*, o termo *electricidade* usa-se em geral para referir o aproveitamento da energia eléctrica na produção de outras formas de energia (p. ex., luz ou movimento), usando dispositivos de controlo geralmente mecânicos (p. ex., interruptores).

O *audion* é um desenvolvimento do *diode* [*díodo*], a primeira válvula termiônica inventada por Ambrose Fleming em 1904. O díodo de Fleming é constituído por dois eléctrodos (terminais) metálicos, ligeiramente separados um do outro, dentro de uma ampola de vidro. Um deles – o *cátodo* – é mantido a uma temperatura superior à do outro – o *ânodo*. Devido ao chamado *efeito termiônico*, quando se aplica ao cátodo uma tensão eléctrica negativa em relação ao ânodo é possível produzir-se uma corrente eléctrica entre eles, mas se a polaridade da tensão fôr invertida (negativa onde era positiva e vice-versa) isto não acontece. Assim, o díodo apenas deixa passar corrente eléctrica num sentido, tornando-se um elemento *rectificador* – uma função que era necessária à detecção de sinais de rádio, em particular para converter o sinal modulado em amplitude num sinal de áudio, nas emissões radiofónicas.<sup>14</sup>

A principal inovação de Forest foi acrescentar um terceiro eléctrodo, a grelha, entre os outros dois. A grelha é um arame em zig-zag. Quando se aplica uma tensão eléctrica positiva em relação ao cátodo a corrente que flui entre o ânodo e o cátodo varia em função desta tensão – por outras palavras, a tensão entre grelha e cátodo determina a corrente entre ânodo e cátodo, pelo que pequenas variações de energia podem controlar variações de energia muito maiores.

Muito importante para as aplicações de áudio é o facto de, dentro de certos limites, a *corrente* de saída ser aproximadamente proporcional à *tensão* (diferença de potencial) de entrada, tornando o *audion* um dispositivo capaz de amplificar. Essa amplificação é razoavelmente linear (o sinal de saída é uma imagem fiel do de entrada, apenas com maior amplitude) desde que o ponto de funcionamento do *audion* seja regulado para que esses limites nunca sejam ultrapassados, caso contrário produzir-se-á distorção (cf. 2.3).

O próprio Forest reconhece não ter explicação cabal para todos os fenómenos relacionados com o funcionamento do *audion*:

«I have arrived as yet at no completely satisfactory theory as to the exact means by which the high-frequency oscillations affect so markedly the behavior of an ionized gas» [não cheguei ainda a qualquer



**Fig. 2.1** – Uma válvula de vácuo produzida em 1914, do tipo desenvolvido por Arnold a partir do *audion* (Schoenherr 1999).

teoria satisfatória quanto aos meios exactos através dos quais as oscilações de alta frequência afectam de forma tão marcada o comportamento de um gás ionizado] (1907). Incorre mesmo em alguns equívocos relativamente à explicação dos fenómenos que faziam funcionar o *audion*, e que só foram esclarecidos a partir de 1912, quando Edwin Armstrong descobriu que a amplificação que se produzia à saída era uma corrente alternada (Greene 1991). Em 1912/13 Harold Arnold, da AT&T (mais tarde, Bell Telephone Co., como já referi), descobriu que o ganho do *audion* podia ser significativamente melhorado extraindo o ar do seu interior,<sup>15</sup> criando assim, a 18/10/1913, a primeira *válvula de vácuo* (fig. 2.1; Schoenherr 1999).<sup>16</sup>

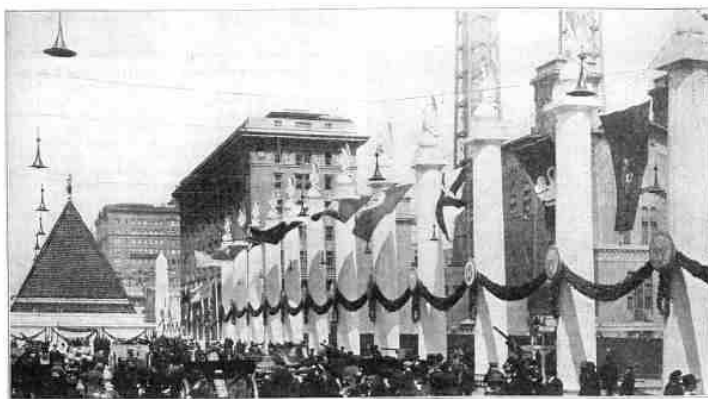
O *audion* foi originalmente concebido como um elemento rectificador usado em detectores de receptores de rádio, mais sensível do que o díodo de Fleming. Só posteriormente – depois de melhorado e mais bem compreendido o seu funcionamento – foi aproveitado pelos *Bell Labs* para amplificar circuitos telefónicos de longa distância (White 1995: 345-346), sendo usado na primeira linha transcontinental – ligando os EUA de costa a costa – inaugurada em 1915, por ocasião da Exposição Universal de São Francisco (Schoenherr 1999).

## 2.3. Amplificadores e Sistemas de Amplificação

[...] and some that give back the voice louder than it came [e alguns que devolvem a voz mais forte do que veio] (Bacon 1626: 12)

A exploração do amplificador, aplicado a altifalantes, para difundir sons – *i.e.*, para levar a várias pessoas ao mesmo tempo um único sinal – iniciou-se com o fim da I Guerra Mundial. Em Maio de 1919, no âmbito da «Victory Liberty Loan», uma campanha para obter fundos, através de contributos dos cidadãos dos EUA, para cobrir as despesas da participação americana no conflito, foram colocados no Liberty Way, em New York, «112 loud-speaking telephone receivers [...] suspended [...] in four rows» [112 receptores telefónicos «alto-

falantes» suspensos em quatro filas] (Electrical Review 1919; fig.2.2). Estes receptores eram alimentados por várias fontes: emissores telefónicos numa tribuna, outros em Washington, ligados por linhas telefónicas, e ainda sinais enviados via rádio de um avião da marinha que sobrevoava o local (*ibid.*). No artigo da Electrical Review é mesmo mencionada a expressão *public adress*.



General View of Victory Way, New York City, Showing Loud-Speaking Telephone Receivers Suspended Over The Crowd.

Em 1919 Varèse encontrava-se em New York, sendo provável que tenha assistido a este ou a outros

**Fig. 2.2** – Altifalantes suspensos em New York, por ocasião da *Victory Liberty Loan* (Electrical Review 1919).

acontecimentos públicos organizados nos EUA nos anos seguintes em que foram usados sistemas *public adress*: em 1921, nas cerimónias do Dia do Armistício realizadas no túmulo do Soldado Desconhecido no cemitério de Arlington,<sup>17</sup> foram usados amplificadores e altifalantes desenvolvidos pela AT&T – 80 altifalantes em Arlington, New York e San Francisco, ligados por linhas telefónicas (Schoenherr 1999). Na tomada de posse do presidente Harding, em 1921, foram usados sistemas de amplificação de grandes dimensões, associados a altifalantes de campânula, perante um público de 125.000 pessoas (Voelker 2001: 10-33). Com o advento do cinema sonoro, a partir de finais da década, surge uma outra aplicação prática e um incentivo comercial para os sistemas de amplificação.

Desde fins da década de 1900 foram realizadas experiências de emissão de sinais de rádio modulados em amplitude (Whitaker 2001: 14.194). A 02/11/1920 a emissora KDKA, de Pittsburg (Texas) iniciou as primeiras emissões radiofónicas comerciais, de uma hora diária (Schoenherr 2002). A componente de amplificação é uma parte essencial dos aparelhos domésticos de recepção, pelo que esta nova actividade – a difusão radiofónica – constituiu um incentivo para o desenvolvimento de dispositivos amplificadores e de altifalantes.

Os circuitos dos primeiros amplificadores introduziam um nível de distorção elevado. Vermeulen (1962: 73-74), referindo-se a finais da década de 1920, menciona que nos circuitos de amplificação «gird bias for the output tube was something exceptional» [era raro o uso de

polarização nas válvulas de saída]. A polarização da grelha consiste na aplicação de uma tensão eléctrica contínua entre este eléctrodo e o cátodo que, misturado com um sinal alterado de entrada (que corresponde ao som a amplificar) determina o *ponto de funcionamento* da válvula, colocando-a na sua zona de funcionamento mais linear. Porém, este processo torna o circuito electrónico ligeiramente mais complexo, e nesta altura o objectivo era obter um máximo de amplificação com o número mais reduzido possível de componentes, para tornar os equipamentos mais económicos. Por outro lado, a distorção excessiva era disfarçada pela resposta limitada aos agudos dos altifalantes disponíveis.

A aplicação de realimentação negativa como uma forma de reduzir a não-linearidade dos circuitos de amplificação foi descrita pela primeira vez por Harold S. Black na *Bell Labs Technical Review* em 1934 (White 1995: 127). Este processo consiste na introdução do sinal de saída do amplificador à sua entrada, em inversão de fase, e atenuado através de componentes que não estão sujeitos a faltas de linearidade (resistências): o sinal de saída é então virtualmente igual ao de entrada, com a sua amplitude multiplicada pela atenuação do circuito de realimentação, e eliminando praticamente toda a distorção.

Este tipo de circuitos não despertavam inicialmente grande interesse devido à convicção vigente de que os ouvintes preferiam uma banda restrita de frequências (eliminavam uma parte dos harmónicos gerados como distorção) e também porque estes circuitos reduziam o ganho, obrigando a um número maior de componentes activos. Na prática, os circuitos amplificadores com realimentação negativa só adquiriram popularidade na década de 1950. Nos primeiros anos desta década tornou-se célebre um circuito de amplificador, publicado em 1949 na revista *Wireless World* e concebido pelo engenheiro britânico D. T. N. Williamson. O amplificador Williamson, apesar de pouco potente (8W), tornou-se famoso pela sua baixa distorsão, obtida graças à realimentação negativa, e serviu de base a muitos esquemas de amplificador publicados nas revistas da especialidade (White 1995: 360; Morton 1999: 39-40; Henney 1959: 15.16-17, 21). Um modelo comercial que seguiu esta mesma filosofia foi o amplificador McIntosh: com 50 W de potência, uma curva de resposta de 20 a 20000 Hz e menos de 1% de distorção, foi comercializado a partir de 1949 por Frank H. McIntosh e Gordon J. Gow (Schoenherr 2002).

## 2.4.Desenvolvimento de Altifalantes

We have certain helps which, set to the ear, do further the hearing greatly [Temos certos auxiliares que, aplicados ao ouvido, levam mais longe a audição] (Bacon 1626: 12)

O altifalante é, na música electrónica ou electroacústica, o elemento que mais se aproxima a um instrumento musical tradicional – pelo menos do ponto de vista do ouvinte e na perspectiva tradicional que equaciona instrumento com produtor de som. O objectivo desta secção é mostrar que transformações sofreu e como evoluíram as suas potencialidades desde os primeiros protótipos até à década de 1950.

Os primeiros transdutores capazes de transformar um sinal eléctrico em som, utilizados inicialmente como receptores telefónicos, eram geralmente de encostar ao ouvido (o que hoje designaríamos por *auscultadores*) ou então estavam associados a uma campânula mais ou menos exponencial. Estas formas eram as únicas viáveis pelo seu elevado rendimento: uma percentagem razoável da potência eléctrica era convertida em potência acústica e eficazmente transmitida ao ouvido ou ao espaço envolvente.

Com o aparecimento de dispositivos amplificadores o rendimento passa a não ser um factor tão importante. Torna-se deste modo possível desenvolver novos tipos de altifalante, menos eficazes mas passíveis de obter uma melhor qualidade sonora: são os altifalantes de *radiação directa* [*direct radiator loudspeakers*], em que o dispositivo vibrante está exposto, dispensando a campânula exponencial.

O rendimento dos altifalantes de radiação directa é geralmente da ordem de 1-2%, enquanto nos de campânula atinge 10-20% ou mesmo 30% (White 1995: 113). O novo tipo de altifalante, porém, está menos sujeito a ressonâncias audíveis, proporcionando uma menor coloração do som, que se torna assim mais natural. Os dois tipos continuam a coexistir, sendo aplicados nas seguintes situações:

1. De *radiação directa* [*direct radiator loudspeaker*] – quando a qualidade sonora é mais relevante do que a potência acústica produzida, sobretudo em ambientes



pequenos (receptores radiofónicos domésticos, p. ex.), onde a sua menor direcionalidade pode ser uma vantagem.

2. De *campânula* [*horn loaded loudspeaker*] – na sonorização de grandes espaços (ar livre), onde a coloração que introduzem não é problema (sistemas *public adress*) ou onde a sua direcionalidade é vantajosa (como nas primeiras salas do cinema sonoro, em que as reflexões das paredes laterais de algumas salas podem causar problemas). Neste tipo de aplicações eles continuaram a ser vantajosos até à introdução em sistemas de sonorização de *colunas de altifalantes* na década de 1950 (White 1995: 64): vários altifalantes em linha, verticalmente, alimentados em fase, direccionais no plano vertical, evitando assim contribuir para a reverberação (White 1995: 64).

Os primeiros «radiadores directos» são os chamados *altifalantes de armadura*. Com base numa patente registada por Henry Egerton a 08/01/1918 os laboratórios Bell (*Bell labs*) desenvolveram alguns altifalantes deste tipo, como o modelo 540 (fig.2.3), que seria comercializado em 1924 (Schoenherr 1999).



Fig. 2.4 – Rádio 2501, da Philips, com altifalante de armadura (Melo 2000).



Fig. 2.3 – Receptor de rádio com altifalante Western Electric 540, comercializado a partir de 1924 (Schoenherr 2001).

Nos altifalantes de armadura a parte móvel incluía um íman, com massa elevada, e por isso mesmo fonte de ressonâncias, que foram corrigidas mais tarde com o desenvolvimento de altifalantes de bobina móvel (Vermeulen 1962: 72). Quando em 1927 a Philips apresentou,

na feira de Utrecht, o seu primeiro receptor, este usava ainda um tipo de altifalante de armadura (Mello 2000; fig. 2.4). Este altifalante fora concebido por Roelof Vermeulen, o director do departamento de Acústica da Philips quando foi criado o *Poème Electronique*, com a colaboração, ao nível da concepção visual, de Louis Kalff, o director artístico responsável pelo projecto do Pavilhão Philips (Tazelaar e Raaijmakers 2004: II, 6).

Em 1924 Irving Wolff (1976: 1-2), que trabalhava nos laboratórios da RCA, desenvolveu um oscilador cuja frequência podia ser variada continuamente por toda a gama de áudio, acoplado a um registador gráfico, para analisar a curva de resposta de altifalantes. Segundo Wolff (1976: 2), era comum os altifalantes desta época possuírem picos de ressonância que não tinham sido detectados antes de se iniciar a sua produção, porque o método que se usava era fazer medições a frequências individuais em vez de usar um varrimento contínuo. Foi por isso um passo importante na depuração deste tipo de transdutores, em que, pelas dimensões e amplitude dos movimentos mecânicos envolvidos, evitar ressonâncias é uma tarefa difícil.

Uma alteração muito importante foi a passagem dos altifalantes de *íman móvel* [*moving magnet*] (como os de armadura) para os de *bobina móvel* [*moving coil*]. Recordemos que o princípio básico de um altifalante é a existência de uma bobina que está colocada num campo magnético, fornecido por um íman (ou electroíman), e que quando é atravessada por uma corrente eléctrica produz forças de atração / repulsão em relação a esse íman. Como os nomes indicam, no primeiro caso são os próprios ímans que se movem, mas no segundo é a bobina, associada a um diafragma, acoplado por sua vez a um cone de papel, que vibra. A massa em movimento torna-se deste modo mais reduzida, havendo maior liberdade de movimento (cf. Wolf 1976: 2).

Segundo Voelker (2001: 10.33), em 1924 H. Rieger descreveu um altifalante de bobina móvel. Schoenherr (2002) refere que um altifalante deste tipo, chamado *Magnavox*, havia já sido inventado em 1911, na Califórnia, por Edwin S. Pridham e Peter L. Jensen. É porém uma

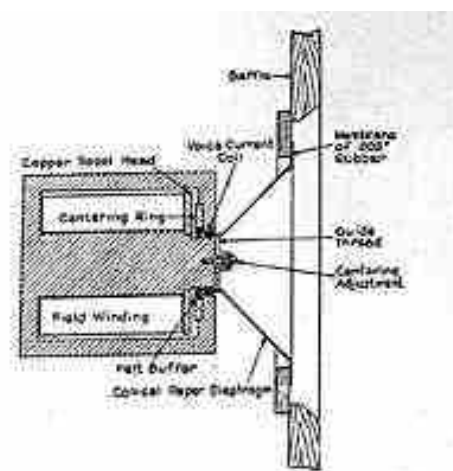


Fig. 2.5 – Esquema do altifalante Rice-Kellog incluído na comunicação de 1925 (Schoenherr 2001a).

comunicação de E. W. Kellog e Rice, datada de 1925 que marca o início do tipo de altifalante que ainda hoje é mais comum. Estes investigadores trabalhavam para a Western Electric, a subsidiária da Bell Telephone Co. que se dedicava à produção (White 1995: 402) e nesse documento definiram um «direct-radiator loudspeaker with a small coil-driven mass-controlled diaphragm in a baffle with a broad mid frequency range of uniform response» [altifalante de radiação directa com um pequeno diafragma actuado por uma bobina e controlado pela massa, num *baffle*, possuindo uma gama de frequências médias alargada com resposta uniforme] (Schoenherr 2002; ver fig.2.5). Kellog e Rice apresentam a seguinte conclusão das experiências que haviam realizado:

[...] the best practical solution of the loud speaker problem was a device combining the following features: a conical diaphragm four inches or more in diameter with a baffle of the order of two feet square to prevent circulation and so supported and actuated that at its fundamental mode of vibration the diaphragm moves as a whole at a frequency preferably well below 100 cycles. [...] a melhor solução prática para o problema do alto falante era um dispositivo combinando as seguintes características: um diafragma cónico com 10 cm ou mais de diâmetro com um *baffle* da ordem de 18 dm<sup>2</sup> para prevenir a circulação e suportado e actuado de tal maneira que no seu modo fundamental de vibração o diafragma se mova como um todo a uma frequência preferencialmente bem inferior a 100 ciclos (por segundo)] (Schoenherr 2001a).

Wolff (1976: 3) refere que os altifalantes de radiador directo e bobina móvel do tipo Rice-Kellog tinham mais liberdade de movimento que os de armação. A princípio eram mais caros, porque eram constituídos por uma bobina que se movia num campo magnético muito intenso, e como na altura não havia ímans permanentes suficientemente fortes era necessário utilizar um electroímã. No entanto, este tipo de altifalante acabou por se tornar o modelo padrão, virtualmente inalterado até aos nossos dias.

Será pertinente aqui uma explicação sobre o termo *baffle*. No sentido que nos interessa, ele foi introduzido na língua inglesa c.1910-1915, designando «any boxlike enclosure or flat panel for mounting a loudspeaker» [qualquer vedação em forma de caixa ou painel de forma plana destinado à montagem de um altifalante] (Webster's 1996: 155). É um isolante acústico entre as vibrações produzidas pelas superfícies frontal e traseira do cone, que se encontram em oposição de fase: se ele não existisse essas vibrações anular-se-iam, a menos que as que viessem da retaguarda chegassem com uma intensidade menor ou um atraso suficiente para

já não estarem em oposição de fase. Este efeito é o chamado *curto-circuito acústico* e afecta sobretudo os graves (Hull 1980: 43, 59-61), já que nos agudos, devido ao seu reduzido comprimento de onda, o atraso resultante do maior percurso da onda «traseira» em relação à «frontal» é geralmente suficiente para impedir o sinal de chegar em contrafase. Note-se que este é um problema específico dos altifalantes de radiação directa, já que nos outros a própria campânula isolava o som da frente do de trás.

A partir da década de 1930 o desenvolvimento de sistemas de altifalantes faz-se por duas vias independentes: uma consiste no desenvolvimento de tipos de *baffle* que optimizem as capacidades de cada altifalante, outra tem a ver com o aperfeiçoamento dos *drivers* (os altifalantes propriamente ditos). No desenvolvimento de *baffles* é de notar o aparecimento de dois tipos de solução para o problema do curto-circuito acústico:

1. Criar caixas completamente fechadas, isolando totalmente a parte traseira da parte frontal do altifalante, desperdiçando alguma energia mas evitando a diminuição acentuada de resposta nos graves. Uma limitação deste sistema é que o ar fechado no interior da caixa, funcionando como uma mola, aumenta a rigidez do cone do altifalante, aumentando a sua impedância acústica (e com ela o seu rendimento) nos graves. Este problema foi contornado de uma forma muito engenhosa em 1954 quando a Acoustic Research apresentou um sistema de altifalantes de pequenas dimensões baseado num princípio concebido por Edgar Villchur e designado *acoustic suspension* [suspensão acústica] (Schoenherr 2002): o altifalante era fabricado com uma suspensão de baixíssima rigidez, e essa rigidez era aumentada pelo efeito de mola do próprio ar contido na caixa, totalmente hermética. Uma consequência colateral altamente favorável era que deste modo o movimento do cone era muito mais linear, diminuindo-se de forma acentuada a distorção.
2. Aproveitar a energia radiada pela traseira do altifalante, enviando-a para a parte frontal do *baffle* com um desfasamento adequado para não estar já em oposição de fase com o sinal radiado pela parte frontal do cone. Os *baffles* têm para isso de possuir algum tipo de abertura. O primeiro (e mais conhecido) desses sistemas é o *bass reflex*, patenteado pela Jensen na década de 1930 (White

1995: 32). Este tipo de sistemas apresenta um rendimento mais elevado e uma resposta mais extensa nos graves do que as caixas fechadas, mas é mais propenso a ressonâncias que originam colorações no som ou mesmo o seu prolongamento excessivo (*boom bass*).

Quanto aos *drivers* um aspecto muito importante foi o desenvolvimento de materiais magnéticos. Os primeiros altifalantes usavam electroímans, pois os ímans permanentes que se conseguia produzir não eram suficientemente potentes. Alguns fabricantes (como p. ex. a Philips) desenvolveram investigação no sentido de encontrar novos tipos de aço capazes de fornecer tais ímans (cf. Vermeulen 1962: 74). A fig. 2.6 mostra a evolução dos tipos de aço disponíveis para a criação do elemento magnético dos altifalantes. Note-se os progressos obtidos a partir de 1935, com a descoberta da liga metálica designada por Ticonal.

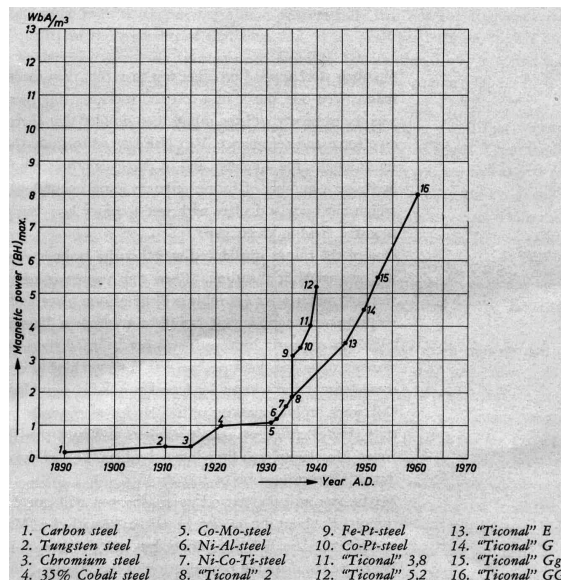


Fig. 2.6 – Evolução dos tipos de aço desenvolvidos para ímans permanentes, usados em altifalantes (Vermeulen 1962: 74).

## 2.5.Registo Sonoro e Alta Fidelidade

[...] to convey sounds in trunks and pipes [transmitir sons em malas e tubos] (Bacon 1626: 12)

O objectivo base dos sistemas de gravação começou por ser o registo / reprodução da voz falada. O primeiro sistema de registo magnético, criado em 1899 por Valdemar Poulsen, chamava-se *telegraphone* e foi pensado para gravar código morse ou eventualmente conversas telefónicas (White 1995: 255). Também o fonógrafo de Edison e o *gramophone* de Berliner tinham sido concebidos para registar a voz.

No entanto, já na passagem do séc.XIX para o séc.XX algumas etiquetas comercializavam música: por volta de 1890 Edward Easton disponibilizava gravações em cilindro da banda de John Philip Sousa (Schoenherr 2000); a voz de Caruso foi registada em 1902 e o *Ernani* de Verdi foi gravado em 40 discos em 1903 (Schoenherr 2002).

O termo *high fidelity*, significando «reprodução sonora sobre toda a gama de frequências audíveis com muito pouca distorsão do sinal original», foi introduzido na língua inglesa por volta de 1930-35 (Webster's 1996: 902). Segundo Schoenherr (2002), o primeiro anúncio de discos de alta fidelidade nos EUA data de 1934. A forma abreviada *hi-fi*, por seu turno, é introduzida nos EUA por volta de 1945-50 (Webster's 1996: 901). Só no início da década de 1950 surgiu o conceito de *alta fidelidade*, significando «a relatively high quality sound system for consumer use» [um sistema de som comercial com qualidade relativamente elevada] (White 1995: 160).

### 2.5.1.Sistemas de Gravação Mecânica

Todas as gravações em disco realizadas até 1925 eram produzidas por meios puramente acústicos / mecânicos (White 1995: 7). Segundo Schoenherr (2002a), «the shellac discs of the acoustic era before 1925 had a signal-to-noise ratio of only 30 dB, due to a weak analog signal and to the strong noise caused by abrasive fillers in the shellac compound» [os discos em goma-laca da era acústica anterior a 1925 tinham uma relação sinal-ruído de apenas 30 dB, devido a um sinal analógico fraco e ao forte ruído causado por aditivos abrasivos na mistura da goma-laca].

Em 1925 foi comercializada uma nova técnica, desenvolvida nos anos que se seguiram à I Guerra Mundial: o corte das matrizes de discos através de máquinas de gravação cujo movimento da agulha e da matriz é controlado electricamente. Surgiram assim condições para a melhoria da qualidade de gravação. Era agora possível colocar um ou mais microfones no local mais adequado, enquanto que antes os músicos tinham de se acumular na proximidade da campânula da máquina de gravação.

O próprio equipamento, ao ter menos componentes mecânicos, apresentava uma resposta em frequências mais plana. O já referido Maxfield (1973: 2), envolvido no projecto

de uma dessas primeiras máquinas, conta que ela tinha sido originalmente concebida para estudar ruído em linhas telefónicas e que por isso necessitava de uma curva de resposta<sup>18</sup> plana. Menciona ainda que a resposta obtida era realmente plana de 300 a 5.500 Hz,<sup>19</sup> e que por isso houve a ideia de comercializar o sistema para uso na gravação musical e no cinema. Também em 1925 foi produzido pela Brunswick Company o *pantrope*, o primeiro giradiscos em que o sinal era recolhido por uma cápsula magnética e amplificado electronicamente (White 1995: 236).

Schoenherr (1999) refere que em 1925 Henry C. Harrison, dos laboratórios Bell, desenvolveu um gravador de discos eléctrico que, tirando proveito dos microfones de condensador (cf. 2.6.1), amplificadores e altifalantes de armadura, permitia aumentar a gama de frequências dos «250-2,500 cycles range of acoustic recorders to a wider range of 50-6,000 cycles» [250-2.500 Hz dos gravadores acústicos para uma gama mais larga de 50-6.000 Hz]. Este sistema foi usado em 04/1925 para realizar a primeira gravação da Philadelphia Orchestra sob a direcção de Leopold Stokowski.

Uma consequência da introdução das máquinas de corte eléctricas e da electrificação do fonógrafo foi a necessidade de normalizar a velocidade dos discos. Até aqui os gramofones mecânicos tinham velocidades variáveis, que cada utilizador ajustava ao seu gosto – uma facilidade que era não um luxo mas uma necessidade básica, já que as velocidades com que os fabricantes produziam os discos eram variadas (cf. Sanner 1999). O uso de um motor eléctrico *síncrono* (cuja velocidade é controlada pela frequência da energia da rede eléctrica) obrigou ao estabelecimento de uma velocidade constante, que foi fixada em 78 rpm.

Vermeulen (1962: 75-76) conta que o primeiro gira-discos eléctrico produzido pela Philips tinha uma força de apoio da agulha de 150 g: as primeiras espiras dos discos tinham um composto abrasivo que dava forma à agulha, para ela ganhar forma e ter uma superfície larga de contacto com o sulco, a fim de evitar que saltasse. Refere ainda que a reprodução das notas agudas era «uma impossibilidade prática».

Leo Beranek (1996: 4-5) refere ter participado num projecto coordenado por Frederick V. Hunt, em Harvard, por volta de 1938, que envolvia a criação de um sistema de gravação e reprodução de discos para registar as comemorações do tricentenário da universidade. Os discos existentes, de 78 rpm, apenas permitiam 3 minutos por face, o que era inadequado, e a solução foi utilizar discos de material plástico, a 33 rpm e com um sulco mais pequeno,

usando uma cápsula com menor força de apoio. Este tipo de cápsula serviu de ponto de partida para outros modelos, que mais tarde possibilitaram o aparecimento dos discos microgravados (Beranek 1996: 5).

Entretanto, Arthur C. Keller, nos *Bell Labs*, ao desenvolver um transdutor para medir laboratorialmente os movimentos verticais de uma agulha de gira-discos, descobriu a cabeça de bobina móvel, chegando a obter uma resposta nos agudos até 15.000 Hz, que, nas suas palavras «was unheard of at that time» [era algo sem precedentes] (Keller 1973: 2).

As cabeças magnéticas dos giradiscos usam um princípio similar ao que é empregue nos altifalantes dinâmicos, mas inverso: um condutor (ou uma bobina) que se move dentro de um campo magnético produz nas suas extremidades uma tensão eléctrica proporcional aos seus movimentos. Tal como nos altifalantes, o que se move pode ser o íman (mais pesado) ou a bobina (mais leve). A mobilidade é maior no segundo caso, mas a diferença não é tão acentuada como no caso dos altifalantes. Além disso, a produção das cabeças de leitura de bobina móvel é extremamente dispendiosa e delicada,<sup>20</sup> pelo que este tipo de cabeças sempre foi reservado a equipamentos de qualidade muito elevada.

Em 1931 Leopold Stokowski, à frente da Philadelphia Orchestra, participou em gravações experimentais, com os graves e os agudos registados nas duas paredes opostas do sulco, em discos de celulose, utilizando o equipamento desenvolvido por Keller (cf. 2.6.2). O objectivo destas experiências era melhorar a gama dinâmica dos discos, tendo-se obtido uma curva de resposta de 30-10.000Hz e uma relação sinal-ruído de 60 dB. Ao ouvir uma gravação do *Carnaval Romano* de Berlioz realizada a 01/12/1931, Stokowski terá afirmado ser a melhor gravação que alguma vez ouvira (Schoenherr 2002, 2002a).

Em 1948 foi introduzido comercialmente o disco microgravado. Em vez de goma-laca era feito de um material plástico (cloreto de polivinil), não exigindo aditivos abrasivos, produzindo assim menos ruído que os discos de goma laca e permitindo obter relações sinal-ruído da ordem dos 60 dB (Schoenherr 2002a). O seu sulco, mais estreito e menos fundo, era viável graças às cabeças com reduzida força de apoio entretanto desenvolvidas. Os resultados que Keller obtivera em laboratório tornaram-se deste modo acessíveis a um público mais vasto.



### 2.5.2.O Cinema Sonoro

O desenvolvimento de sistemas de registo e reprodução sonora foi estimulado, a partir de fins da década de 1920, pelo interesse da indústria cinematográfica na sonorização de filmes. Em 1926 foi constituída a Vitasound, uma corporação formada pela Western Electric e a Warner Brothers, que estreou em 06/10/1927, com o filme *The Jazz Singer*, um sistema, desenvolvido por Joseph P. Maxfield, Henry C. Harrison e Arhtur C. Keller, baseado num disco de 16 polegadas (40 cm), a 33 1/3 rpm, acoplado ao mecanismo do projector (White 1995: 355; Keller 1973:11), com o qual era sincronizado pela utilização de motores eléctricos de tipo síncrono (ver 2.5.1).<sup>21</sup>

As dificuldades de manipulação e os problemas de sincronização do sistema filme + disco levaram ao desenvolvimento, especialmente durante a década de 1930, de sistemas ópticos, utilizando faixas longitudinais na própria película, entre os fotogramas e os furos de sincronização, para registar o som (White 1995: 351). Estes projectos foram inicialmente desenvolvidos a partir de 1926 pela Fox, rival da Warner Brothers (Schoenherr 2002).

Os primeiros sistemas ópticos – designados, segundo Keller (1973), por *sound on film*, em oposição a *sound on disk* – registavam uma faixa de densidade variável (as variações de pressão do som eram traduzidas por variações de opacidade da faixa), o que levantava problemas de distorsão, dada a reduzida linearidade do processo de impressão fotográfica, e de ruído de fundo, devido ao grão da própria película (White 1995: 351). Para resolver esse problema foram desenvolvidos nos *Bell Labs*, ao longo da década de 1930, sistemas de área variável, em que o som é registado numa faixa transparente cuja largura acompanha as variações de pressão do som (White 1995:351).

Na década de 1930 a Philips começou a produzir projectores de cinema, explorando inicialmente processos de registo sonoro de densidade variável (Vermeulen 1962). Por volta de 1937 iniciou a comercialização de três modelos que ainda eram produzidos «basicamente inalterados trinta anos depois» (Nijssen 2000) – ou seja, ainda o eram na época do *Poème Electronique*.

Com base na tecnologia óptica do cinema, a Philips obteve do americano J. A. Miller licença para comercializar e desenvolver um sistema de gravação óptica que este desenvolvera, o sistema Philips-Miller de gravação óptica de som:<sup>22</sup> A película era coberta por uma camada opaca muito fina, cortada mecanicamente por uma agulha controlada electronicamente, por um processo semelhante ao usado na produção de discos. Era portanto um sistema de área variável, «a combination of a mechanical recording method with an optical method of reproduction.» [uma combinação de um método de gravação mecânico com um método óptico de reprodução] (Vermeulen 1936). Segundo Vermeulen (1962: 76), este sistema permitiu um aumento de 20 vezes (26 dB) da amplitude de gravação, obtendo-se uma qualidade superior à que se obtinha então com meios magnéticos, mas tornou-se obsoleto com a melhoria da qualidade destes últimos através da aplicação da polarização de alta frequência (cf. 2.5.3). Vermeulen atribui ao sistema uma curva de resposta de 25-8.000 Hz  $\pm$  2 dB (Morton s/d), o que, embora ainda algo limitado no extremo superior do espectro, é notável pela regularidade da resposta ao longo de todo o espectro reproduzido.

Mais tarde, para a realização de experiências de estereofonia, a Philips incorporou um método de redução de ruído baseado na compressão-expansão dinâmica: o nível de gravação era aumentado manualmente na gravação, e a posição em cada instante dos potenciômetros era registada na película, para controlar automaticamente o volume de reprodução (Vermeulen 1962: 77). Como veremos no cap. 7, a gravação de sinais de controlo é um dos elementos chave da realização técnica do *Poème Electronique*.

### 2.5.3.Registo Magnético

Em 1944 um oficial do exército dos EUA chamado John Mullins estava em missão no Reino Unido, tentando resolver um problema de interferências nas comunicações aeronáuticas. Mullins descreve o que se passava quando o trabalho se estendia pela noite dentro:

I wanted music while I worked. The BBC broadcasts filled the bill until midnight, when they left the air. Then, fishing around the dial in search of further entertainment, I soon discovered that the German stations apparently were on the air

twenty-four hours a day. They broadcast symphony concerts in the middle of the night – music that was very well played, and obviously by very large orchestras.

I had some experience with broadcast music and knew what ‘canned’ music sounded like. The American networks wouldn't permit the use of recordings in the early 1940s, because they claimed the quality was inferior. You could always spot the surface noise and the relatively short playing time of commercial 78-rpm discs.

Even transcriptions had some needle scratch and a limited frequency response. There was none of this in the music coming from Germany. The frequency response was comparable to that of a live broadcast, and a selection might continue for a quarter of an hour or more without interruption.

In Germany at that stage, of course, Hitler could have anything he wanted. If he wanted a full symphony orchestra to play all night long, he could get it. Still, it didn't seem very likely that even a madman would insist on live concerts night after night. There had to be another answer, and I was curious to know what it was.

[Eu queria música enquanto trabalhava. As emissões da BBC davam conta do recado até à meia-noite, quando deixavam de estar no ar. Então, dando voltas à sintonia em busca de mais entretenimento, em breve descobri que as estações alemãs aparentemente estavam no ar vinte e quatro horas por dia. Elas difundiam concertos sinfônicos a meio da noite – música que era muito bem tocada, e obviamente por orquestras muito grandes.

[Eu tinha alguma experiência com música radiodifundida e sabia a que soava a música ‘enlatada’. As redes de radiodifusão americanas não permitiam o uso de gravações no início dos anos 40 porque afirmavam que a qualidade era inferior. Podia-se sempre notar o ruído de superfície (*i. e.*, o atrito da superfície do disco) e o tempo relativamente curto dos discos comerciais de 78 RPM.

[Até as transcrições apresentavam algum ‘arranhar’ da agulha e uma resposta em frequências limitada. Nada disto acontecia na música que vinha da Alemanha. A curva de resposta era comparável à de uma emissão ao vivo, e uma selecção podia continuar durante um quarto de hora ou mais sem interrupção.

[Na Alemanha, nessa época, é claro que Hitler podia ter tudo aquilo que lhe apetecesse. Se quisesse que uma orquestra sinfónica completa tocasse durante toda a noite ele tê-la-ia. Mesmo assim, não parecia muito provável que mesmo um louco insistisse em concertos ao vivo noite após noite. Tinha de haver outra resposta, e eu estava curioso por saber qual era.] (Lewis s/d).

Durante a ocupação da Alemanha, Mullins descobriu na Rádio Frankfurt um tipo de aparelho chamado *Magnetophon* (fig.2.7). Dois destes aparelhos foram entregues ao exército invasor, outros dois foram trazidos para os EUA, como «recordações de guerra», por Mullins, desmontados e enviados por correio em



Fig. 2.7 – *Magnetophon* do início da década de 1940 (Lewis s/d).

trinta e cinco volumes separados. Em 1946 o oficial reconstruiu-os e apresentou-os a vários profissionais de áudio. (Lewis s/d).

A descrição de Mullins permite-nos tirar várias conclusões relevantes sobre o estado da tecnologia de gravação no fim da II Guerra Mundial:

1. Na década de 1940 a qualidade de uma emissão radiofónica era superior à de uma gravação comercial em disco – o suficiente para permitir aos ouvintes distinguir uma de uma emissão ao vivo de outra em que fosse passada música registada em disco, nomeadamente ao nível do ruído de superfície que se ouvia no segundo caso.
2. A duração de um disco comercial era limitada (consequência da velocidade de 78 RPM e do sulco mais profundo e largo do que o microsulco que só foi comercializado a partir de 1948).
3. O *Magnetophon* resolveu estes dois problemas, apresentando um nível de qualidade que o tornava, pelo menos para os ouvidos de Mullins, impossível de distinguir de um concerto radiodifundido ao vivo, quanto a ruído e curva de resposta.
4. A surpresa de Mullins revela que os padrões de fidelidade possíveis na Alemanha, graças ao *Magnetophon*, se revelavam muito superiores aos que eram comuns nos EUA.

O princípio fundamental do *Magnetophon* – magnetizações alternadas sucessivas ao longo de um objecto feito de uma substância capaz de receber de forma permanente essa magnetização – tinha sido descoberto quase meio século antes, mas foi na Alemanha do tempo da II Guerra Mundial que começaram a ser produzidos aparelhos capazes de explorar este princípio de forma prática e com qualidade notável do ponto de vista do registo e reprodução musicais. Como se chegou dos primeiros gravadores magnéticos até aos aparelhos que espantaram Mullins? Que razões impediram que este método tivesse anteriormente obtido maior popularidade para a gravação de música?

O primeiro dispositivo que aproveitava os princípios do registo magnético foi alvo de uma patente, registada a 01/12/1898 no seu país pelo dinamarquês Valdemar Poulsen, com o nome de *telegraphon*<sup>23</sup> (fig.2.8). A gravação era realizada num arame fino de aço (Schoenherr 2002). O princípio de gravação, que fôra já descrito em 1888 por Oberlin Smith (Richter e Veitch 1999: 202), manteve-se inalterado desde então: à medida que o arame (ou outro meio magnetizável) vai passando por um electroímã, é magnetizado em sentidos alternados pelos campos magnéticos que o electroímã produz (Brug *et al.* 1999: 75).



Fig. 2.8 – O *Telegraphon* de Poulsen, em 1898 (Naughton s/d.).

Poulsen expôs o *telegraphon* em 1900 na Exposição Universal de Paris (Schoenherr 2002; Richter e Veitch 1999: 202), que Varèse terá visitado (Vivier 1973: 11), embora não haja qualquer evidência de que ele tenha ou não visto o aparelho.

Gao, Robertson e Shan (1999: 148) observam que o arame, enquanto meio para a gravação magnética, apresentava os seguintes inconvenientes:

1. Dado que o arame podia facilmente torcer-se, a parte que fôra gravada podia ficar do lado oposto à cabeça no momento da leitura, pelo que nem sempre se conseguia ler o que previamente se gravara.
2. O arame, fino, era propício a rebentar, sendo necessário repará-lo através de um nó quando isto acontecia, e interrompendo a gravação ou reprodução (curiosamente, não encontrei referências aos danos que presumivelmente tais nós produzissem nas cabeças).

Para obstar a estes inconvenientes, Poulsen experimentou igualmente fita de aço e papel recoberto de uma película metálica (Potgieter s/d). Oberlin Smith sugerira já o uso de um fio de algodão impregnado de partículas de aço (Richter e Veitch 1999: 202).

Mas foi a partir de 1918, quando a patente dinamarquesa do *telegraphon* expirou (Schoenherr 2002), que o desenvolvimento das técnicas de gravação magnética se tornou mais apreciável. Na Alemanha, Kurt Stille registou no início da década de 1920 várias patentes para registo magnético em fitas de aço, dando o seu trabalho origem a um sistema de registo de som

sincronizado com a película, para o cinema sonoro (Manning 1993: 12). Stille vendeu os direitos a Ludwig Blattner, que comercializou em 1929 o equipamento sob o nome de *Blattnerphone*, que foi usado no Reino Unido pela BBC, a partir de 1931 (Potgieter s/d; Manning 1993: 12-13). No início da década de 1930 a Marconi adquiriu os direitos de produção, comercializando um novo modelo, o *Marconi-Stille*, com bobines de 60 cm. de diâmetro, que foi adoptado na BBC em 1934 (Potgieter s/d; Manning 1993:13). Estes equipamentos, ao beneficiarem da possibilidade de amplificar que o *audion* trouxera, proporcionavam melhor qualidade que o *telegraphon*, mas apresentavam inconvenientes práticos: caso a fita se soltasse ou partisse não só teria de ser unida por soldadura como se tornava potencialmente letal para quem se encontrasse nas proximidades, especialmente ao rebobinar a alta velocidade (Manning 1993: 13).

Na década de 1930 foram desenvolvidos nos EUA diversos gravadores que, à semelhança do *telegraphon*, usavam arame de aço como meio de gravação. Marvin Camras, em 1939, desenvolveu para a Armour Research Foundation de Chicago gravadores deste tipo (Morton 1999: 41-42; Schoenherr 2002), que foram usados para treinar pilotos. Aquando da invasão da Europa pelos aliados, no fim da II Guerra Mundial, foram colocadas gravações, devidamente amplificadas, de combates em locais onde não ia haver desembarque, de forma a iludir o exército alemão (Lichty s/d).

Entretanto, na Alemanha, em 1928 o Dr. Fritz Pfleumer – que fabricava papel de emburrlhar cigarros e pretendia expandir o uso do seu processo de manufactura – registou uma patente para a aplicação de pós de metal magnetizável a uma tira de papel (Richter e Veitch 1999: 202; Schoenherr 2002). Em 1931 Pfleumer e a AEG começaram a construir os primeiros aparelhos para gravar as novas fitas (Schoenherr 2002). A descoberta de que o papel, pouco elástico, tende a quebrar com facilidade, levou à criação em 1932 de uma aliança entre a AEG e a BASF, em que a primeira criou um aparelho de gravação / leitura e a segunda desenvolveu novas fitas baseadas na patente de Pfleumer, passando em 1934 a utilizar uma base plástica em vez de papel (Richter e Veitch 1999: 202; Schoenherr 2002).

Em 1935 foi realizada, na Berlin Radio Fair, a primeira demonstração pública do *Magnetophon*, que beneficiava de um novo tipo de cabeça de gravação, desenvolvida por Eduard Schueller (Richter e Veitch 1999: 202), baseada num anel metálico, à volta do qual estava bobinado um fio eléctrico, e que possuía uma ranhura (o *entreferro*) que encostava na

fita, definindo com mais precisão a região magnetizada em cada instante e permitindo, para a mesma velocidade, o registo de frequências mais elevadas. A 19/11/1936 foi realizada uma gravação em fita de um concerto ao vivo, dirigido por Thomas Beecham (Schoenherr 2002).

Recorde-se que em 1933 começa a ser notória a ascensão do Nazismo e que em 1939 começa a II Guerra Mundial. Assim, o *Magnetophon* não teve de imediato grande oportunidade de ser conhecido fora da Alemanha. De resto, só em fins da década de 1930 é que foi realizada uma inovação importante: a polarização por corrente alternada.

A magnetização de um material não obedece a uma função de transferência linear: quando a corrente eléctrica que atravessa a bobina da cabeça de gravação tem valores próximos ou muito afastados de zero a magnetização produzida deixa de ser proporcional a esta corrente. Se nos limitássemos a aplicar o sinal a gravar à cabeça a forma de onda que obteríamos ao reproduzir a fita estaria fortemente distorcida. A primeira forma empregue para evitar este problema consistia em misturar uma corrente contínua, graças à qual mesmo no pico negativo de um ciclo o valor da corrente seria superior a zero e num pico positivo não atingiria a região não linear da função de transferência. Este processo chama-se *polarização por corrente contínua* [*dc bias*]<sup>24</sup> e o seu princípio é semelhante ao da polarização de grelha das válvulas (cf. 2.3).

Uma outra característica do processo de magnetização, inerente aos materiais usados, é o facto de ser *histerético*. A *histerese* [*hysteresis*] é um processo físico que consiste no «atraso na resposta exibida por um corpo ao reagir a forças, especialmente forças magnéticas, que o afectam» (Webster's 1996: 945). Por outras palavras, quando se aumenta o fluxo magnético, ao passar por uma determinada magnitude desse fluxo, a magnetização obtida não será exactamente a mesma que se obtinha caso se estivesse a diminuir o fluxo. Podemos ainda exprimir este fenómeno dizendo que a função de transferência (nível de magnetização obtido em função da corrente aplicada à cabeça, ou ao fluxo magnético que esta produz em cada instante) é diferente quando o fluxo está a aumentar ou quando está a diminuir.<sup>25</sup>

Segundo Richter e Veitch (1999: 202), a polarização por corrente alternada de alta frequência foi descoberta independentemente na Alemanha, Japão e EUA em finais da década de 1930. Schoenherr (2002) refere que o processo foi desenvolvido por Weber e Von Braunmuhl, da AEG, e aplicado ao *Magnetophon* em 1941, melhorando consideravelmente a sua qualidade. O processo consiste em misturar ao sinal a gravar um outro sinal ultrasónico,

de algumas dezenas de quilohertz, frequência demasiado elevada para ser detectada na reprodução, mas que faz com que em cada instante a magnetização se realize nos dois sentidos – aumentando e diminuindo – cancelando o efeito da histerese. Com este processo, para além de se obter menor distorsão do que com a polarização por corrente contínua é também possível gravar sinais com maior amplitude sem distorsão apreciável, melhorando a relação sinal-ruído.

O *Magnetophon* usava fita de 6,5 mm. Há dúvidas sobre a velocidade exacta da fita: o cabrestante (o cilindro metálico que controla o arrastamento a uma velocidade constante da fita) tinha 1 cm de diâmetro e assume-se em geral que o motor era síncrono, com uma velocidade de 1500 RPM, e acoplado directamente ao cabrestante, mas segundo Friedrich Engel, da BASF, o motor não era síncrono e tinha uma velocidade de c.1470 RPM (White 1995: 327). Isto dá, para cada um dos casos, uma velocidade de:

$$(1500 / 60) \cdot 1\pi = 25 \cdot \pi = 78.54 \text{ cm/s}$$

$$(1470 / 60) \cdot 1\pi = 24,5 \cdot \pi = 76.97 \text{ cm/s}$$

Com base nos aparelhos trazidos por Mullins – que, depois de os reconstruir e adaptar a parte electrónica usando componentes americanos, os demonstrou amplamente nos EUA – várias empresas norte-americanas comercializaram equipamentos semelhantes. A que apostou em equipamentos de melhor qualidade foi a Ampex. O primeiro modelo comercializado foi o Ampex 200, que usava uma fita de 1/4" (6,35 mm) desenvolvida entretanto pela 3M – a Scotch 111, uma fita com base de acetato e coberta por uma camada de óxido férrico – e tinha uma velocidade única de 30" por segundo (30 pps = 76,20 cm/s) (White 1995: 327; Schoenherr 2002).

Estes ajustes estiveram na base da posterior normalização dos gravadores e fitas. O modelo seguinte, o Ampex 300, funcionava a 15 ou 7,5 pps (38,1 ou 19,05 cm/s), velocidades adequadas a aplicações menos críticas (White 1995: 327). Note-se que para uma mesma cabeça, e em função do tamanho de entreferro desta, a frequência máxima que pode ser gravada / reproduzida é proporcional à velocidade.

O facto de a Ampex encarar a possibilidade de diminuir a velocidade é um testemunho da excelência que era possível, por volta de 1950, obter ao nível da resposta dos agudos, graças à gravação em fita magnética. Weber (1963: 16) apresenta como figura de mérito da gravação



directa<sup>26</sup> 4.000 ciclos de onda sinusoidal por polegada, o que significa que o limite máximo de frequência que se pode obter em condições técnicas ideais é de (30 x 4.000 =) 120.000 Hz a 30 pps, e de 60.000 / 30.000 Hz para 15 / 7 ½ pps, respectivamente.

Note-se que em 22/03/1952 foi instalado um gravador Ampex 401A<sup>27</sup> e acessórios em casa de Varèse, em New York (MacDonald 2003: 329, 338). O Ampex 400 (de que o 401A seria uma variante) era um modelo «lower priced [...] of professional quality [...] developed specifically for independent broadcast stations» [de preço mais baixo (...) com qualidade profissional (...) desenvolvido especificamente para estações de radiodifusão independentes] (Ampex 2003).

Ao longo da década de 1950 o gravador de fita começou a tornar-se popular nos EUA. A par de empresas como a Ampex, que produziam equipamentos de elevadíssima qualidade e preço igualmente exorbitante – acima de \$2500 USD, segundo Morton (1999: 11) – outras marcas começaram a produzir equipamentos mais económicos, não só nos EUA como na Europa, já que a tecnologia alemã pudera ser copiada por outros países, como o Reino Unido, após o fim da II Guerra Mundial (cf. Morton 1999: 11). A proliferação de equipamentos levou à necessidade de os normalizar a três níveis: formatos das fitas, velocidades e curvas de equalização.

Ao nível dos formatos de fita tornaram-se padrão larguras de ¼" (0,15 mm mais estreita que a BASF original) e de ½". Nos EUA, a AES (Audio Engineering Society) estabeleceu como norma uma curva de equalização<sup>28</sup> para a velocidade de 30 pps (White 1995: 10) e a NAB (National Association of Broadcasters) introduziu em 1954 uma curva de equalização para a velocidade de 15 pps, baseada no que era praticado pela Ampex (White 1995: 327). Esta curva foi aplicada na prática pelos fabricantes americanos para 7,5 pps (White 1995: 216).

Fora dos EUA foram adoptadas as velocidades de 15 e 7,5 pps, mas não a curva de pré-ênfase (White 1995: 327). Se uma fita não fôr gravada e reproduzida com curvas de equalização complementares e adequadas à fita e equipamento em questão a distribuição espectral do som gravado vai ser adulterada – uma das implicações imediatas é que uma fita magnética gravada em equipamento americano levantaria problemas ao ser reproduzida num aparelho europeu, ou vice-versa. Algum material sonoro recolhido por Varèse para as interpolações de *som organizado* de *Déserts* fôra recolhido pelo compositor no seu Ampex.

Segundo Vivier (1973: 146), quando Varèse realizou a montagem com o auxílio de Pierre Henry no Club d'Éssai, em Paris, «plusieurs enregistrements réalisés en Amérique se révélèrent inutilisables à cause de leur mauvaise qualité technique» [diversas gravações realizadas na América revelaram-se inutilizáveis devido à sua má qualidade técnica]. É possível que essa *má qualidade* se devesse em parte a incompatibilidades entre os equipamentos europeus e americanos, a nível de curvas de equalização ou mesmo da distribuição geométrica das pistas na fita<sup>29</sup> – Busby (2001: 6.53-6.54) refere, para o caso das fitas de 1/4", um «early stereo format which also supports two independent channels» [sistema estéreo primitivo que também permite dois canais independentes] e um «European stereo-only format» [formato europeu exclusivamente estéreo], em que a separação entre as pistas é respectivamente de 0,084" e 0,026" (2,13 e 0,66 mm).

#### **2.5.4. Objecções à Expansão da Curva de Resposta nos Agudos**

Following World War II, several investigators claimed that the average listener preferred a restricted frequency range in the reproductions of speech and music, with a top frequency range of 5,000 Hertz. There were three reasons for this state of affairs namely, 1) the average listener after listening to the restricted frequency range of radio and phonographs had been conditioned to this state of affairs, and did not want a wider frequency range; 2) that the reproduction of musical instruments was more pleasing with the higher overtones eliminated; and 3) the distortions and deviations in sound reproduction were less objectionable with the restricted frequency range because the restricted frequency range eliminated the harmonics which were generated by the distortion. [A seguir à II Guerra Mundial diversos investigadores afirmaram que o ouvinte médio preferia uma gama de frequências restrita nas reproduções de fala e de música, com um limite superior de 5000 Hz. Havia três razões para este estado de coisas, a saber: 1) o ouvinte médio, depois de ter ouvido a gama restrita de frequências do rádio e dos giradiscos, tinha sido condicionado para este estado de coisas, e não pretendia um gama de frequências mais larga; 2) que a reprodução de instrumentos musicais era mais agradável com os harmónicos mais elevados eliminados; e 3) as distorções e desvio na reprodução sonora eram menos objectionáveis com a gama restrita de frequências porque a gama restrita de frequências eliminava os harmónicos que eram gerados pela distorção.] (Olson 1975: 2)

Olson (1975: 9) refere que ao desenvolver (presumivelmente por volta de 1950) altifalantes com uma gama alargada de frequências se deparara com falta de aceitação quando

estes eram ligados a giradiscos ou rádios, mas não quando eram ligados directamente a microfones e amplificadores.

O problema era já antigo. Vermeulen (1962: 72-73) refere que quando, em fins da década de 1920, a Philips desenvolveu um altifalante de bobina móvel, chamado «Mastersinger», teve muitas reclamações quanto à sua qualidade sonora «because it reproduced so many high notes» [porque reproduzia tantas notas agudas], deixando ouvir mais o ruído de fundo dos discos da época, e de «rattling» (estalidos, crepitação), resultantes da distorsão dos amplificadores da época.

Uma parte significativa do ruído (fricção da agulha no disco, ruído térmico dos circuitos electrónicos, ruídos atmosféricos na rádio, granularidade do meio na gravação mecânica, óptica ou magnética) é o chamado *ruído de banda larga* – constituído por um número infinito de componentes, dispostos continuamente numa gama alargada de frequências – geralmente próximo do *ruído branco*. No ruído branco a energia é proporcional à largura de banda: com o aumento do limite agudo da banda passante aumenta também substancialmente o nível de ruído, com a sua diminuição produz-se o efeito inverso.

Para testar a legitimidade da preferência por equipamentos com uma resposta limitada nos agudos e remover eventuais ideias pré-concebidas, Olson participou, por volta de 1948 (o ano em que foi lançado o disco microgravado), numa experiência que descreve da seguinte forma:

We arranged an acoustic filter between a live orchestra and the listeners. The acoustic filters were in the form of doors that could be turned in and out. In other words the filter could be placed in or out of operation. A light opaque sound transmitting curtain was placed between the listeners and the acoustic filters so that the listeners could not see the filters or what transpired behind the screen. The high-frequency cut-off of the filters was 5,000 hertz. When the filters were turned out, the listeners received the full frequency range from the orchestra or speech. Tests were performed with people from all walks of life. The experiments indicated a preference of 70% for the full frequency range. This showed that there was something wrong with reproduced music and speech. An investigation indicated that it was indeed distortion which brought the people to prefer a limited frequency range. When the distortion was eliminated, high-frequency sound reproduction took off and burgeoned during the following year. [Dispusémos um filtro acústico entre uma orquestra ao vivo e os ouvintes. Os filtros acústicos tinham a forma de portas que podiam ser colocadas em operação ou fora de operação. Uma cortina leve, opaca mas que transmitia o som, foi colocada entre os ouvintes e os filtros acústicos, de maneira a que os ouvintes não

podiam ver os filtros nem o que transpirava atrás do ecrã. A frequência de corte dos filtros era 5.000 Hz. Quando os filtros eram colocados fora de acção os ouvintes recebiam a gama completa de frequências da orquestra ou da fala. Foram realizados testes com pessoas de todas as categorias. Os testes indicaram uma preferência de 70% pela gama completa de frequências. Isto mostrou que havia algo errado com a música e a fala reproduzidas. Uma investigação indicou que era na realidade a distorção que levava as pessoas a preferirem uma gama de frequências limitada. Quando a distorção foi eliminada, a reprodução das frequências elevadas cresceu, dando-se no ano seguinte o seu florescimento.] (Olson 1975: 2)

Esta crença nas desvantagens de um sistema com uma curva de resposta mais alargada nos agudos, um fenómeno que se não foi exclusivo foi pelo menos mais manifesto nos EUA, terá eventualmente levado à diferença de padrões entre este país e a Alemanha, senão a Europa em geral. Convém recordarmos que nesta época Varèse vivia em New York e só visitou a Europa em 1950, quando a convite de Wolfgang Steinnecke leccionou cursos de composição no Kranichsteiner Musikinstitut de Darmstadt (Vivier 1973: 139), aproveitando para proferir conferências durante dois meses noutras cidades da Alemanha (*ibid.* 138-9).

Vários indícios apontam para uma exploração precoce na Europa de bandas de frequências alargadas nos agudos, comparativamente ao que se passava nos EUA. A descrição de Mullins das emissões alemãs de música sinfónica nocturna, registada no *Magnetophon* (cf.2.5.3), é eloquente a este respeito. O facto de nos EUA só a partir de 1948 se ter começado a desfazer o mito de que os ouvintes preferiam gravações com uma banda passante limitada nos agudos poderá ter constituído um sério travão ao desenvolvimento comercial da qualidade de reprodução. Winkel (1967: 150) observa, referindo-se ao impacto do aparecimento das emissões de rádio em FM:

The present development of radio transmissions raises some problems which can be regarded as important contributions to the function of sound formation. They involve the expansion of the frequency area of musical overtones up to 15,000 cps. Thus the frequency spectrum of all musical sounds and noise is considered. Earlier, according to international agreements, the low frequency band width of AM was limited to 4500 cps, so that neighboring broadcasting stations would not be disturbed. In Europe this agreement was usually tacitly broken by most broadcasters, who emitted a low frequency modulation of 6000 to 7000 cps. [O desenvolvimento actual das transmissões de rádio levanta alguns problemas que podem ser vistos como contributos importantes para a função da formação do som. Eles envolvem a expansão da área frequencial dos harmónicos musicais até 15.000 Hz. Assim, é tomado em consideração

o espectro de frequências de todos os sons musicais e do ruído. Anteriormente, por acordos internacionais, a largura de banda de baixa frequência em AM era limitada a 4.500 Hz, de modo a que estações de radiodifusão vizinhas não fossem perturbadas. Na Europa este acordo era em geral tacitamente quebrado pela maior parte dos radiodifusores que emitiam uma modulação de baixa frequência (*i. e.*, um sinal de áudio) de (até) 6.000 a 7.000 Hz.]

Um aspecto a considerar é o potencial de uma banda de frequências alargada nos agudos facilitar a apreensão da origem direcciona de um som, aumentando a eficácia de sistemas estereofónicos ou multipistas que explorem o elemento espacial. O cérebro humano, ao identificar a proveniência direcciona de um som, recorre directamente<sup>30</sup> a dois tipos de pistas:

- 1.A diferença de fase e de intensidade que chega aos dois ouvidos, que permite sobretudo distinguir sons que vêm da esquerda, da direita, ou se movem no plano esquerda direita, principal razão de ser dos sistemas estereofónicos.
- 2.As filtragens produzidas no espectro em função da direcção de proveniência do som, devido à forma do pavilhão e da cabeça do ouvinte, bem como a eventuais reflexões nos seus ombros. Estas filtragens em função da direcção são designadas por HRTF, ou *head-related transfer functions* [*funções de transferência relacionadas com a cabeça*], e constituem a principal pista sobre se o som veio da frente ou de trás, bem como se veio de cima, de meia altura ou de baixo.

Note-se que, embora as HRTF dependam da forma dos pavilhões, cabeça e corpo (sobretudo ombros) de cada ouvinte, as frequências acima de 4.500 Hz fornecem pistas muito ricas, em particular sobre os elementos direccionais não detectáveis por diferenças de intensidade / fase entre os dois ouvidos. Por exemplo, uma das pistas para nos apercebermos que um som vem de cima é um reforço numa região à volta dos 8000 Hz, resultante da reflexão nos ombros do ouvinte (cf. Hugonnet e Walder 1995: 62-63). Por isso, um aumento, ainda que pequeno, da resposta em frequências nos agudos, na gama entre os 4.000 e os 10.000 Hz, corresponde a um aumento substancial na informação direcciona que um sistema proporciona.

## 2.6.Reprodução Espacializada

[...] and, as it were, tossing it [e como que projectando-a] (Bacon 1626: 12)

Em 1881 foi realizada pela primeira vez uma tentativa de reproduzir um espaço sonoro conservando alguma dimensão espacial: no contexto da *Primeira Exposição da Electricidade*, em Paris, foram realizadas transmissões do palco da ópera da cidade usando microfones de carvão dos dois lados da caixa do ponto, com os seus sinais transmitidos por duas linhas independentes para receptores telefônicos (auscultadores) instalados numa sala da exposição (Voelker 2001: 10-33).<sup>31</sup> O

sistema demonstrado fôra patenteado na Alemanha como «Melhoramentos em Equipamento Telefônico para Teatros» pelo engenheiro parisiense Clément Ader, que descreve o dispositivo nos seguintes termos:

The instruments are distributed in two groups on the stage, a left and a right one. The subscriber has likewise two receivers, one of them connected to the right group of microphones and the other to the left. Thus, the listener is able to follow the variations in intensity and intonation corresponding to the movements of the actors on the stage. This double listening to sound, received and transmitted by two different sets of apparatus, produces the same effects on the ear that the stereoscope produces on the eye. [Os transmissores estão distribuídos em dois grupos no palco, um da esquerda, outro da direita. O assinante tem igualmente dois receptores, um ligado ao grupo esquerdo de microfones e outro ao direito. Assim, o ouvinte consegue seguir as variações em intensidade e intonação correspondentes aos movimentos dos actores no palco. Esta dupla audição do som, recebido por dois conjuntos diferentes de aparelhos, produz o mesmo efeito no ouvido que o estereoscópio na visão] (White 1995: 9).

Uma descrição contemporânea (Scientific American 1881) refere que havia 80 receptores telefônicos, distribuídos por 10 sistemas – 5 ligados a microfones do lado esquerdo do palco, outros 5 do lado direito (fig.2.9). A bateria que alimentava cada emissor

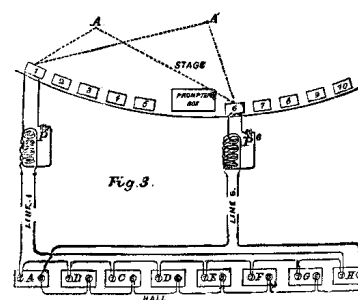


Fig. 2.9 – Esquema de um dos 5 pares de emissores telefônicos do sistema de Ader (Scientific American 1881).

(basicamente, um microfone de carvão) tinha de ser substituída a cada 15 minutos, pelo que sucessivamente se ia ligando cada um dos 5 pares de sistemas a um par de receptores telefónicos, que cada um dos ouvintes (entre 8 de cada vez) colocava nos dois ouvidos – eram portanto necessários os já referidos 80 receptores telefónicos. Por esta descrição podemos fazer uma ideia das dificuldades práticas que se tinha então de vencer para levar a bom termo experiências desta natureza.

Segundo a descrição contemporânea de M. Hospitalier (*Scientific American* 1881), «As soon as the experiment commences the singers place themselves, in the mind of the listener, at a fixed distance, some to the right and others to the left. It is easy to follow their movements, and to indicate exactly, each time that they change their position, the imaginary distance at which they appear to be.» [Assim que começa a experiência os cantores colocam-se, na mente do ouvinte, a uma distância fixa, alguns para a direita e outros para a esquerda. É fácil seguir os seus movimentos, e indicar exactamente, cada vez que eles alteram a sua posição, a distância imaginária a que parecem estar]. Tendo em conta que os microfones usados eram de carvão, os quais para além de produzirem um nível elevado de distorção praticamente só reagem a sons produzidos na sua proximidade (White 1995: 50), é notável que Ader tenha conseguido o resultado descrito.

### 2.6.1. Microfones

Os microfones de carvão são portanto eficazes como emissores telefónicos mas inadequados quer para a captação de música, quer para transmitir uma sensação precisa do espaço sonoro. Só com o aparecimento dos microfones de condensador e dinâmicos será possível vencer esta limitação.

Projectado em 1916 por E. C. Wente, dos *Bell Labs*, o microfone de condensador foi comercializado

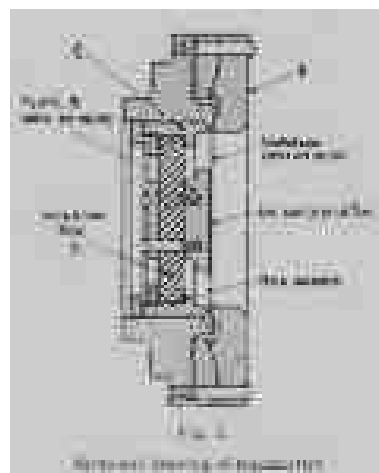
nos EUA a partir de 1931 (White 1995: 72; Schoenherr 1999). Entretanto, em 1928 Georg

Neumann, em Berlim, tinha já iniciado a produção de um outro modelo deste tipo de microfone, conhecido como «garrafa de Neumann» (Schoenherr 2002; fig. 2.10).



Fig. 2.10 – Microfone Neumann, de 1928 (Schoenherr 2002)

O microfone de condensador possui um diafragma metálico extremamente fino – 0,07 e 0,056 mm, segundo descrição de Wente em artigos publicados em 1917 e 1922, respectivamente (Schoenherr 1999). O diafragma é esticado paralelamente a uma placa metálica, a uma distância muito reduzida desta (fig.2.11). Um circuito amplificador especial permite converter as variações desta distância em variações de tensão eléctrica.



Este microfone era um dispositivo extremamente linear e, devido à massa reduzida do seu diafragma, capaz de responder a frequências muito elevadas – até 15000 Hz em laboratório (Schoenherr 1999) – sem ressonâncias nem colorações. Frágil e dispendioso, ainda hoje é o microfone de estúdio por excelência quando a naturalidade e a neutralidade são os principais objectivos.

O microfone dinâmico, inventado por Wente e A. C. Thuras, foi patenteado em 05/05/1928, e comercializado a partir do início da década de 1930 pela Western Electric Company (Schoenherr 1999; White 1995: 109). O seu princípio é inverso daquele em que se baseia o altifalante dinâmico: uma bobina (ou um condutor eléctrico), quando se move dentro de um campo magnético, produz uma tensão eléctrica nas suas extremidades que depende do seu movimento. Mais robusto, é também mais económico de produzir que o de condensador, apresentando uma qualidade que não lhe é muito inferior.

Todos estes microfones captam as variações de pressão, o que os torna praticamente omnidireccionais. Por volta de 1931 Harry Olson, dos RCA Research Laboratories, inventou o microfone de fita (White 1995: 102), o primeiro microfone sensível à velocidade e não à pressão, e por isso com características direccionais: basicamente, tinha um padrão bidireccional, mas ainda na década de 1930 Olson desenvolveu a série 77 de microfones de fita, em que era possível alterar o padrão direccionais.<sup>32</sup> Segundo Olson (1975: 1) estes microfones foram desenvolvidos para resolver o problema de captar o som num estúdio de cinema que a RCA adquirira, mantendo o microfone fora do alcance das câmaras, mas sem captar os ruídos do estúdio. Posteriormente, foram descobertos meios de tornar também direccionais os microfones dinâmicos e de condensador.



Assim, ao longo da década de 1930 passam a estar disponíveis – ainda que com um custo eventualmente elevado – diversos tipos de microfones cujas prestações são superiores à dos restantes componentes usados no registo, reprodução, transmissão e amplificação de áudio.

### 2.6.2. Estereofonia

Em 1933 Harvey Fletcher e os seus colaboradores nos Bell Labs realizaram uma experiência / demonstração de transmissão de um concerto por linhas telefónicas preservando a sensação de origem espacial dos sons (White 1995: 318). A *Philadelphia Orchestra* foi captada em Philadelphia (Penn.) por três microfones distribuídos ao longo do proscénio, cujos sinais eram enviados para a *Constitution Hall*, em Washington D. C. (White 1995: 319), onde Leopold Stokowski, maestro titular da orquestra, controlava o volume dos três canais (White 1995: 319). Note-se que Stokowsky era então «o único maestro de renome a apoiar Varèse» (Snyder 2000), tendo dirigido três das suas obras: *Hyperprism* (1924), *Amériques* (1926) e *Arcana* (1927).

Segundo Olson (1975: 11), Fletcher e a sua equipa realizaram experiências com dois e três canais. Os microfones eram omnidireccionais e a técnica utilizada era a que hoje conhecemos como *stereo A-B* ou *spaced microphone stereo* (White 1995: 4). Na década de 1930, o termo usado para estas técnicas era *auditory perspective*, sendo posteriormente substituído por *stereophony* e *stereophonic*, termos mais cómodos de usar (White 1995: 25-26).

Nos *Bell Labs*, também sob a direcção de Fletcher, foram também realizadas experiências de gravação estereofónica de discos (White 1995: 174). Keller (1973: 2) refere experiências para a análise da distorsão em discos nas quais separara as componentes grave e aguda, gravando-as respectivamente no lado exterior e interior do sulco (cf. 2.5.1); posteriormente, registara-as como movimento horizontal e vertical; a partir daí, tivera a ideia de que se pudesse obter toda a banda de frequências necessária em cada um dos movimentos conseguiria gravar dois canais com uma só agulha. Nas suas palavras, os resultados eram «quite striking from the point of stereo effects» [notáveis do ponto de vista do efeito estéreo]. Posteriormente, Keller optou pelo registo a 45°-45° – gravar a soma das pistas na horizontal

e a diferença na vertical, que é o equivalente a registar cada pista numa parede do sulco, a 45° da superfície – de que registou patente c.1938-39, e que viria a ser o sistema adoptado aquando da comercialização de discos estereofónicos, em 1958.

Pela mesma altura, e aparentemente sem contactos com as experiências americanas, Alan Blumlein, engenheiro-chefe da EMI em Londres, fazia em 1931 o que foi provavelmente o primeiro disco estereofónico, empregando os dois lados do sulco para gravar dois canais independentes (White 1995: 42). Blumlein foi o primeiro a investigar a possibilidade de captar a espacialização da fonte sonora através de um *par coincidente* de microfones (*i.e.*, dois microfones cujas cabeças se encontram o mais próximas possível, normalmente uma directamente em cima da outra): a técnica conhecida como estéreo X-Y, em que dois microfones direccionais, em ângulo, captam os sinais esquerdo e direito (White 1995: 174). Em meados da década de 1950 Lauridsen, na Dinamarca, inventou uma variante do sistema de Blumlein, o estéreo M-S, em que são usados um microfone omnidireccional e outro bidireccional (ver White 1945: 211).

Vermeulen (1962: 76-77), engenheiro da Philips, conta que (presumivelmente) durante a II Guerra Mundial colaborou com De Boer na investigação da direccionalidade auditiva, em experiências usando uma cabeça de manequim com dois microfones instalados, realizando o seu primeiro registo estereofónico em película, num sistema óptico de área variável Philips-Miller (cf.2.5.2). Também Fletcher havia feito experiências, por volta de 1932, com uma cabeça semelhante (White 1995: 321). Note-se que estas técnicas exigem que ouvinte use auscultadores e, como dependem das HRTF («head related transfer functions» [funções de transferência relacionadas com a cabeça]), a sua eficácia diminui se a forma da cabeça-modelo fôr muito diferente da do ouvinte.

A primeira experiência de emissão radiofónica por dois canais foi feita em Inglaterra, em 1926, usando duas estações em AM, e de novo na década de 1950, mas então em FM (White 1995: 137). A estreia de *Déserts*, de Varèse, foi a primeira emissão de um concerto em estereofonia pela ORTF, usando dois canais de emissão (Vivier 1973: 155). Nestes sistemas o ouvinte apenas precisaria de ter em casa dois receptores, sintonizando cada um para uma emissora diferente e colocando-os afastados, mas obviamente a imagem estereofónica só seria razoável se os dois aparelhos fossem de qualidade idêntica e tivessem o volume regulado de forma equilibrada.

Durante a década de 1950 foram também experimentados vários sistemas baseados em subportadoras e/ou multiplexagem (White 1995: 136): num só canal de emissão em FM era enviado, para além do sinal de áudio, um sinal ultrasónico modulado em amplitude, contendo informação relativa a um segundo canal ou, como acontece hoje em dia, a diferença entre os canais (sendo no sinal de áudio principal registada a mistura – a *soma* – dos dois canais). Mas só em 01/06/1961 entrou em vigor uma norma estabelecida pela FCC para a radiodifusão em estereofonia (Whitaker 2001: 14.201).

O impulso para a experimentação com mais de um canal durante a década de 1950 terá surgido provavelmente da facilidade com que é possível gravar mais de uma pista com boa qualidade, graças à fita magnética. Em 1949 a Magnecord adicionou uma segunda cabeça ao seu gravador PT-6, permitindo gravar em duas pistas (Schoenherr 2002), e ao longo da década seguinte são comuns os gravadores de duas ou três pistas – os últimos são designados pela Ampex *multi-track recorders*. Embora a partir da década de 1960 o número de pistas de um gravador seja geralmente uma potência inteira de 2 (2, 4, 8,...), na década de 1950 são extremamente comuns as referências a gravadores de 3 pistas. A existência de uma tradição de explorar mais de dois canais de som no cinema desde fins da década de 1930 poderá fornecer-nos algumas pistas para a compreensão deste fenómeno.

### **2.6.3. Sistemas de Espacialização no Cinema**

O sistema *vtasound*, desenvolvido pela Warner Brothers em fins da década de 1930, era um sistema de área variável, mas tinha uma particularidade: duas faixas adicionais, mais estreitas (também de área variável), do lado oposto à faixa normal, continham sinais que permitiam controlar o ganho de amplificadores ligados a diversos altifalantes, colocados à volta da sala (White 1995: 355).

Em 1954 foi criado um sistema algo semelhante: o *perspecta sound*, em que há apenas uma faixa magnética de som na qual, para além de um canal único de áudio, são introduzidos sinais «subsónicos» de 30, 35 e 40 Hz (que os altifalantes que se encontravam normalmente nas salas de cinema da época não conseguiriam reproduzir). Estes sinais controlam para qual dos três altifalantes atrás do ecrã será encaminhado o sinal de áudio (White 1995: 242). Uma

técnica parecida tornou-se comum à medida que, na década de 1950, as estações de rádio começavam a adoptar a fita magnética: algumas estações pré-gravavam programas e selecções musicais, com sinais inaudíveis gravados no fim de uma fita para ligar automaticamente outra fita, colocada num segundo gravador (Morton 1999: 11-12). Também para a reprodução do *Poème Electronique* foram usados sinais de controlo, com frequências pré-definidas, não só para dirigir o som para os diferentes grupos de altifalantes como também para controlar projectores e luzes, como veremos em 7.1.3.

Ao contrário do que acontecia nas experiências de Ader, Fletcher e Blumlein, no *vitasmound* e no *perspecta sound* havia não *estereofonia* mas sim *monofonia dirigida*: um sinal único orientado para diferentes pontos no espaço, em diferentes momentos, através de sinais de controlo – o mesmo processo que iremos encontrar em 1958 no *Poème Electronique*.

Para o filme *Fantasia*, estreado em 1940, a Disney e a RCA desenvolveram conjuntamente um sistema de sonorização chamado *fantasmound* (usado apenas até 1941), com 8 canais de som em gravação óptica, em duas películas de 35 mm separadas. White (1995: 125) refere que na gravação:

- 1.Os canais 1 a 6 eram ligados a 6 microfones, distribuídos pela orquestra.<sup>33</sup>
- 2.O canal 7 recebia a mistura dos anteriores.
- 3.O canal 8 recebia o sinal de um microfone no meio da sala, para captar a reverberação.

Inicialmente, na reprodução, havia três grupos de altifalantes por trás do ecrã e um quarto grupo espalhado pela sala, e a mistura era feita em tempo real (*ibid.*), mas foi criada uma versão simplificada e automatizada, com apenas cinco pistas numa película única, em que quatro pistas continham uma mistura das oito originais e uma quinta continha informação de controlo sobre o volume e colocação das restantes (*ibid.*). O sistema resultante tomou o nome de TOGAD (*tone-operated gain-adjusting device* [dispositivo de ajuste de ganho controlado por sons]) (White 1995: 125, 335). A utilização de pistas em que eram gravados sons que comutavam as pistas de áudio seria usada também no *Poème Electronique* (cf. 7.1.3).

A introdução de sistemas de projecção cinematográfica com formato largo de ecrã foi um catalizador para o desenvolvimento de sistemas de espacialização sonora. O formato

*cinerama*, introduzido em 1952, utilizava três projectores de 35 mm para criar uma imagem panorâmica, e recorria a cinco canais de som, mais tarde ampliados para sete, registados numa película magnética também de 35 mm (White 1995:59). Note-se que a gravação final do *Poème Electronique* e de *Concrète PH* (uma obra de Xenakis que era reproduzida durante os intervalos das apresentações) foram gravados precisamente em fitas de 35 mm com orifícios de sincronização semelhantes aos das películas cinematográficas.

O *cinemascope*, introduzido em 1953 pela 20th Century Fox no filme *The Robe*, projectava uma imagem alargada (proporção 2,35 : 1), e foi o primeiro sistema de filme estereofónico com as pistas de som na mesma película que os fotogramas (White 1995: 58). Gravados em duas faixas magnéticas de cada lado, junto aos orifícios de sincronização, havia quatro canais de som: esquerdo, centro e direita no ecrã, e um quarto canal para efeitos ambientais que era reproduzido em altifalantes colocados no fundo e nas paredes laterais, embora após os primeiros filmes tenha surgido a prática mais económica de só gravar em estereofonia a música e para os diálogos fazer uma gravação monofónica que depois era direccionada para as diferentes pistas (White 1995: 59). White (ibid.) observa que «os primeiros filmes em CinemaScope eram produzidos com extrema minúcia e tinham um realismo áudio que era notável em 1953, e raramente atingido hoje». Em 1953-54 a Philips desenvolveu um projector de 70 mm para filmes em *cinemascope* com 6 canais de som (Treib 1996: 254-255).

## 2.7.Reprodução Neutra vs. Manipulada

Ce terme de *haute fidélité*, aussi connu sous le vocable de hi-fi, est à mon sens le mot le plus galvaudé et le plus mal utilisé du monde moderne de la reproduction sonore. La reproduction de haute fidélité peut se définir ainsi: procédé qui utilise les moyens les plus purs pour retransmettre des éléments sonores réels. [Este termo *alta fidelidade*, também conhecido pelo vocábulo hi-fi, é na minha opinião a palavra mais aviltada e mais mal utilizada do mundo moderno da reprodução sonora. A reprodução de alta fidelidade pode definir-se assim: processo que utiliza os meios mais puros para retransmitir elementos sonoros reais] (Poirier 1975: 49).

A definição de Poirier, um engenheiro de som da Radio Canada, reflecte uma visão idealista da reprodução sonora, que tem a ver com a *neutralidade* na reprodução. Esta visão era já a motivação das experiências realizadas na década de 1930 por Fletcher e Blumlein, entre outros, e perde uma parte do seu carácter utópico quando na década de 1950 começam a estar acessíveis equipamentos com uma curva de resposta razoavelmente plana em praticamente todo o espectro audível, com uma relação sinal-ruído elevada e um nível reduzido de distorção.

Se este conceito de «pureza» foi um dos motores do desenvolvimento de equipamentos de alta qualidade, tomando um carácter obsessivo na década de 1950, pela mesma altura começam a surgir aparelhos que permitiam «subverter» essa pureza, e que estão na origem do desenvolvimento nas décadas seguintes de duas linhas opostas de equipamentos: os que se destinam a puristas / audiófilos e os que são virados para o grande público, sobrecarregados com funcionalidades e efeitos que estão na moda, seja para permitir ao utilizador «manipular» criativamente o som que ouve, seja para esconder as limitações do equipamento.

Foi na década de 1950 que surgiram por exemplo os circuitos Baxandall para controlo do ganho de graves e agudos: trata-se de filtros muito simples, inseridos no circuito de realimentação, e que se tornaram um elemento padrão na maior parte dos amplificadores comercializados nas décadas seguintes (White 1995: 33). O utilizador doméstico passou assim a poder moldar, ainda que de forma muito limitada, a sonoridade que escutava.

Os primeiros gramofones e giradiscos tinham forçosamente de dispôr de uma regulação contínua da velocidade dada a falta de normalização dos discos anteriores a 1925. Com a introdução dos discos microgravados em 1948 surgem duas velocidades diferentes, 33 ⅓ e 45 rpm, mas muitos giradiscos permitiam igualmente reproduzir os antigos discos de 78 rpm.

Os gravadores de bobinas da década de 1950 dispõem em geral de motores síncronos, cuja velocidade depende da rede de energia eléctrica a que estão ligados. Ainda nesta década a Ampex – cujos gravadores eram concebidos de uma forma modular, podendo ser configurados de acordo com as necessidades do cliente – comercializou um sistema designado por *vari-speed*, baseado num oscilador de frequência variável que, amplificado, alimentava o motor do aparelho (White 1995: 352). Outros dispositivos baseados neste mesmo princípio seriam usados nos primeiros estúdios de música electrónica / concreta.

Um domínio em que também surgiram *gadgets* é o da reverberação. Em 1950 a Radio Craftsman comercializou um dispositivo de reverberação para uso doméstico, designado *xophonic*, em que o som de um altifalante era atrasado 50 ms. por um tubo helicoidal, no final do qual se encontrava um microfone (White 1995: 362). Em fins da década de 1950 Hermann Scherchen – o maestro que dirigiu a estreia de *Déserts* – concebeu um dispositivo chamado *Stereophoner*. Este aparelho, sem grande sucesso comercial, derivava um sinal estéreo de um sinal mono, através de atrasos temporais e equalização, destinando-se a melhorar a qualidade do vasto *corpus* de gravações mono existentes (White 1995: 318). Hardy (1962: 65) refere um sintonizador / amplificador doméstico da Philips (B7X14A), adquirido em 1961, que incluía reverberação.

### 2.7.1.Reverberação Assistida

[...] we have also divers strange and artificial echoes, reflecting the voice many times [temos também diversos ecos estranhos e artificiais, reflectindo a voz muitas vezes] (Bacon 1626: 12)

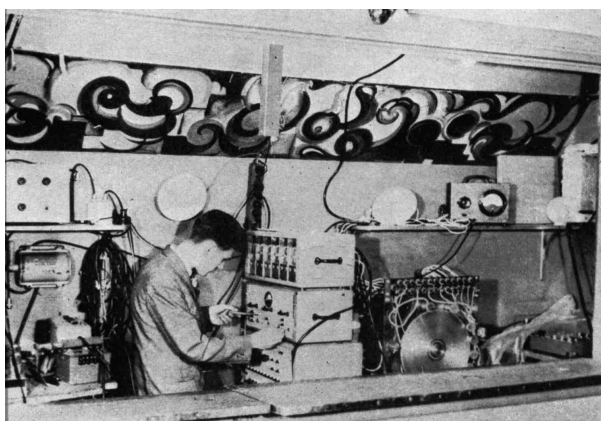
Embora a consciencialização para a influência do meio na projecção e transformação dos sons seja objecto de escritos tão antigos como os do arquitecto romano Vitruvius, que c.50 AC descreve as características acústicas dos teatros gregos e romanos (White 1995: 355), o estudo científico experimental da acústica de salas iniciou-se com os trabalhos de Wallace Sabine, realizados na Universidade de Harvard a partir de 1895 e publicados a partir de 1910 (Henrique 2002: 32-33). O principal contributo de Sabine foi a consciencialização para a importância do tempo de reverberação como parâmetro fulcral da acústica de uma sala (Koning 1983/84: 12). Em 1940 Leo Beranek (1996), também na Harvard University, concluiu um doutoramento baseado no estudo experimental de coeficientes de absorção de uma vasta gama de materiais,<sup>34</sup> contributo essencial para a aplicação dos princípios de Sabine à planificação de salas. Vern O. Knudsen, outro nome de referência neste domínio, publicou textos de referência em 1932, e de novo em 1950 em co-autoria com Cyril Harris.

Na década de 1950 começaram a ser aplicados sistemas de reverberação assistida em salas de espectáculo. Um dos primeiros casos foi o *Teatro alla Scala* de Milão, ao qual foi

aplicado um sistema desenvolvido pela Philips, chamado *ambiophony*,<sup>35</sup> descrito em artigos técnicos entre 1956 e 1959. Nesse sistema,

[...] The sound near the source was picked up by microphones, delayed by magnetic recording on the circumference of a ‘delay wheel’ and then added by means of distributed loudspeakers to the diffuse sound in the auditorium. [O som próximo da fonte era captado por microfones, atrasado através de gravação magnética na circunferência de uma ‘roda de retardo’ e então acrescentada através de altifalantes distribuídos pelo campo difuso no auditório] (Koning 1983/84: 13).

Vermeulen (1962: 77-79) conta que o sistema fôra desenvolvido antes para melhorar as condições acústicas de um antigo bar, num dos edifícios da Philips, que era demasiado seco para audições musicais. A fig. 2.12 mostra o equipamento, vendo-se as diversas cabeças da *delay wheel*, para produzir atrasos escalonados. Um sistema semelhante é usado por Badings na composição, em Eindhoven, de *Cain en Abel* (cf. 6.3), bem como no *Poème Electronique*.



**Fig. 2.12** – O sistema de reverberação da Philips, num bar fora de uso, situado num dos edifícios da empresa (Vermeulen 1962: 78). Do lado direito, a *delay wheel*.

## 2.8.A Evolução dos Recursos

Sintetizando o historial traçado ao longo deste capítulo podemos observar que:

- 1.A aplicação de recursos electrónicos à reprodução sonora ganhou visibilidade após o fim da I Guerra Mundial.
- 2.Desde o fim da guerra até c.1930 foram surgindo sistemas e dispositivos cuja qualidade ultrapassava as necessidades da reprodução de voz:



- 2.1.O microfone de condensador, que permite registar frequências elevadas com ruído e distorção reduzidos.
- 2.2.Sistemas de amplificação baseadas em válvulas que, entretanto, tinham ganho alguma fiabilidade.
- 2.3.Altifalantes de bobina móvel e cone, tipo Rice-Kellog, com uma curva de resposta mais ampla e plana.
- 2.4.Sistemas de gravação de discos em que o sinal era introduzido por meios electrónicos, com uma curva de resposta também mais ampla e plana.
- 3.Muitos destes progressos foram obtidos graças a programas de investigação de laboratórios dos EUA, em particular dos *Bell Labs*.
- 4.Na década de 1930 houve experiências notáveis ao nível do melhoramento da qualidade de gravação (curva de resposta mais larga, nos graves e nos agudos, e melhor relação sinal-ruído) e da espacialização, nomeadamente com as equipas de Alan Blumlein (EMI – Londres) e Harvey Fletcher (*Bell Labs* – EUA), neste caso em colaboração com a *Philadelphia Orchestra* e Leopold Stokowski.
- 5.Também na década de 1930 a sonorização do cinema levou ao desenvolvimento de sistemas ópticos, conseguindo-se através do uso do método de área variável melhorias substanciais de qualidade (como no caso do sistema Philips-Miller), e realizando-se algumas experiências de espacialização sonora no cinema (embora com sucesso comercial limitado).
- 6.Em meados da década de 1930 apareceu na Alemanha o *Magnetophon* – o primeiro gravador magnético realmente prático – que a partir de 1941, com a introdução da polarização por corrente alternada de alta frequência, adquiriu qualidade suficiente para ser difícil de distinguir, na rádio, de uma emissão ao vivo, conforme o testemunho de Mullins.
- 7.Só c. 1948, após o fim da II Guerra Mundial, a tecnologia do *Magnetophon* começou a ser explorada e difundida nos EUA. Pela mesma altura começou a desaparecer o preconceito contra o alargamento da curva de resposta nos agudos, abrindo-se a porta para a exploração da *alta fidelidade*.

8. Na década de 1950 o aparecimento de formatos panorâmicos no cinema revitalizou a exploração de sistemas multipistas de espacialização. Surgiram também nesta altura os primeiros sistemas de correcção acústica de salas baseados na reverberação assistida.

Assim, embora muitos dos recursos explorados para a manipulação de sinais acústicos existissem desde o início do séc.XX, eles apenas atingiram a fiabilidade e qualidade necessárias para a reprodução musical na década de 1930, embora em condições laboratoriais. Mas foi na década de 1950 – a era da *alta fidelidade* – que se encontraram reunidas todas as condições para que essa qualidade se generalizasse, que as possibilidades de reprodução e manipulação se tornaram aparentemente infinitas. O músico que desejasse aproveitar estes recursos defrontava-se essencialmente com duas limitações: o preço / disponibilidade dos equipamentos e a sua mestria técnica, *i. e.*, a capacidade de realizar com eles aquilo que idealizava.

### 3. RECURSOS II: MÚSICA E ELECTRÓNICA

Divers instruments of music likewise to you unknown, some sweeter than any you have [Diversos instrumentos de música que igualmente desconheceis, alguns mais suaves do que quaisquer que vós tendes] (Bacon 1626: 12)

No capítulo anterior vimos como surgiram e se foram desenvolvendo, ao longo da primeira metade do séc.XX, os aparelhos que *reproduzem* sons. É agora a vez de abordar a história dos aparelhos que recorrem à electricidade ou à electrónica para os *produzir*. O ênfase será colocado naqueles que de alguma forma se relacionam com o percurso de Varèse.

Embora existisse desde fins do séc.XIX a tecnologia necessária para sintetizar sons através de meios electromecânicos ou electrónicos, factores de ordem prática tornavam utópica a criação de obras como as que se produziram na década de 1950. Isto não impediu que, logo nos primeiros anos do séc.XX, alguns visionários se apercebessem das potencialidades dos novos recursos. Busoni (1916), após discutir as possibilidades de sistemas microtonais, escreve:

Wichtig und drohend ist dagegen die Frage, wie und worauf diese Töne zu erzeugen sind. Es trifft sich glücklich, dass ich während der Arbeit an diesem Aufsatz eine direkte und authentische Nachricht aus Amerika erhalte, welche die Frage in einfacher Weise löst. Es ist die Mitteilung von Dr. Thaddeus Cahills Erfindung. Dieser Mann hat einen umfangreichen Apparat konstruiert, welcher es ermöglicht, einen elektrischen Strom in eine genau berechnete, unalterable Anzahl Schwingungen zu verwandeln. Da die Tonhöhe von der Zahl der Schwingungen abhängt und der Apparat auf jede gewünschte Zahl zu "stellen" ist, so ist durch diesen die unendliche Abstufung der Oktave einfach das Werk eines Hebels, der mit dem Zeiger eines Quadranten korrespondiert. [Uma questão importante e iminente é como e com que meios criar estes sons. Felizmente aconteceu que, enquanto eu elaborava este texto, recebi uma notícia directa e autêntica da América, que responde facilmente a esta questão. Trata-se da comunicação da descoberta do Dr. Thaddeus Cahill. Este homem construiu um aparelho de grande envergadura que possibilita transformar uma corrente eléctrica num número de vibrações calculado com exactidão. Como a altura dos sons depende do número de vibrações e o aparelho pode ser ‘regulado’ para qualquer número que se

desejar, é (possível obter) através dele os infinitos escalonamentos da oitava facilmente, (accionando) uma alavanca, que corresponde ao mostrador de um quadrante.]

### 3.1.O Telharmonium

Em 1912, ao relatar uma festa de passagem de ano na casa de Samuel Langhorn Clemens (Marc Twain), o seu biógrafo Albert Bigelow Paine escreve:

It was the music feature of this party that was distinctive; it was supplied by wire through an invention known as the telharmonium which, it was believed, would revolutionise musical entertainment in such places as hotels, and to some extent in private houses. The music came over the regular telephone wire, and was delivered through a series of horns or megaphones -- similar to those used for phonographs -- the playing being done, meanwhile, by skilled performers at the central station. Just why the telharmonium has not made good its promises of popularity I do not know. [Era a música desta festa que era diferente. Era fornecida por uma linha eléctrica através de uma invenção conhecida como o telharmonium que, acreditava-se, revolucionaria o entretenimento musical em lugares como hotéis, e em certa medida nas casas particulares. A música vinha através da linha telefónica regular, e era distribuída por uma série de campânulas ou megafones – semelhantes aos usados nos fonógrafos – enquanto a música era tocada por executantes experientes na estação central. A razão pela qual o telharmonium não fez jus às suas promessas é algo que me escapa.] (Obsoleto 1998o).

O *telharmonium* – também chamado *dynamophone* – aqui referido não é mais que o instrumento cuja notícia Busoni lera, numa descrição da autoria de Ray Stannard Baker, publicada na revista *McClure* de 06/1906 (Holmes 2002: 50; Chadabe 1997: 4). Este instrumento foi alvo de cinco patentes por parte do seu inventor, Thaddeus Cahill (Weidenaar 1984: 537), que durante a primeira década do séc.XX chegou a construir 3 instrumentos, o primeiro dos quais era apenas um protótipo.

A ideia de Cahill era construir um instrumento capaz de distribuir música através de linhas telefónicas. Em vez de oscilações mecânicas, o instrumento produzia oscilações de tensão eléctrica, que as linhas transmitiam a transdutores colocados na outra extremidade.

Essas oscilações eram na realidade obtidas através de dispositivos mecânicos, não vibratórios mas rotativos.

No plano prático a ideia de usar uma linha telefónica para difundir música faria muito sentido na época: a radiodifusão apenas se veio a desenvolver na década de 1920 (cf. 2.3) e por volta de 1900 a única aplicação prática dos transdutores capazes de transformar um sinal eléctrico em som era o *receptor telefónico*.

Dada a inexistência de dispositivos amplificadores o sinal tinha de possuir na origem energia suficiente para poder ser transmitido e accionar os transdutores da época – concebidos para que o ouvinte os encostasse ao ouvido, apesar de alguns modelos terem acoplada uma campânula exponencial que permitia ouvi-los a alguma (pouca) distância. A falta de dispositivos amplificadores vai ser o calcanhar de Aquiles do *telharmonium*, originando dois problemas:

- 1.O instrumento consome uma quantidade de energia muito elevada, possuindo dimensões gigantescas (o segundo *telharmonium* construído pesava c.200 toneladas).
- 2.As elevadas correntes eléctricas que atravessavam as linhas de distribuição – que em 1906/07 eram independentes das linhas telefónicas, mas usavam as mesmas condutas – levam a que, por indução, sejam produzidas interferências nas comunicações telefónicas de voz.

O *telharmonium* era controlado a partir de um ou mais teclados. As oscilações eram produzidas graças a cilindros de aço com saliências (fig.3.1), inicialmente chamados *rheotomes*,<sup>36</sup> que rodavam acoplados a veios metálicos (um para cada uma das doze classe de alturas). Cada eixo rodava a uma velocidade fixa, de forma que o número de saliências que passavam por segundo num dado ponto determinava a frequência produzida. Em cada veio, para além dos *rheotomes* que produziam a fundamental de cada nota e das respectivas oitavas, outros, com número de saliências proporcionalmente mais elevado, produziam os respectivos harmónicos, que eram posteriormente misturados por uma série de transformadores, podendo-se controlar, através de *reóstatos* (resistências variáveis), a proporção com que eram misturados – e portanto o espectro do som periódico produzido.

Cahill estudara música em Ohio a partir de 1884. Em 1885 fôra editada a tradução inglesa de *Die Lehre der Tonempfindungen* de Helmholtz (Henrique 2002: 29), pelo que a ocasião era propícia para o desenvolvimento de um instrumento capaz de produzir vários timbres por associação de parciais. Os *rheotomes* funcionavam a partir de uma corrente contínua (gerada por um único dínamo) que era distribuída através da própria estrutura metálica do instrumento, e que alternadamente era conduzida ou não para determinados circuitos eléctricos através de *escovas* (semelhantes às de um motor eléctrico) (Weidenaar 1984: 537).



**Fig. 3.1** – Conjunto de cilindros dentados (Obsolete 1998o). Em cada veio havia vários destes conjuntos.

Embora o sinal obtido nas escovas correspondesse a uma onda quadrada, os transformadores usados para realizar as misturas dos sinais filtravam-na (Weidenaar 1984: 537), tornando-a quase sinusoidal – logo, mais adequada para uma síntese aditiva,<sup>37</sup> indo ao encontro das ideias apresentada por Helmholtz.

Talvez o facto de a forma de onda poder não ser exactamente sinusoidal tenha levado Cahill a, na versão final do seu protótipo, substituir as escovas por bobinas induzidas pelos excêntricos dos veios, que passaram a ser magnetizados. Por outras palavras, Cahill substituiu os *rheotomes* por alternadores no sentido moderno. Note-se que nesta época o termo *dínamo*, que hoje em dia designa em geral um dispositivo que gera uma corrente contínua, era usado no início do séc.XX indistintamente para o dínamo propriamente dito e para o que hoje chamaríamos *alternador* (cf. Webster's 1996: 61; 610). Isto explica que em 1906, pouco depois da substituição dos *rheotomes* por *alternadores* (aliás, *dínamos*), o inventor declarasse preferir chamar ao instrumento *dynamophone* (Chadabe 1997: 4).

As referências ao *telharmonium* tendem a falar dele como se fosse um único instrumento, mas na realidade os três instrumentos que Cahill construiu eram bastante diferentes. Além disso, nenhum deles correspondia totalmente ao instrumento descrito nas primeiras patentes. Porque ignorar estas diferenças pode conduzir a equívocos, a tabela seguinte resume algumas das características do instrumento descrito na segunda patente (a mais ambiciosa) e dos três modelos que Cahill chegou a construir.<sup>38</sup>

	Segunda Patente	Primeiro Instrumento	Segundo Instrumento	Terceiro Instrumento
Local e Data	1896	Washington, 1900; Holyoke 1903; ainda existia c.1951 <sup>39</sup>	Holyoke, 03/1906; New York, 06/1906; desmantelado (c.1908?) para usar no terceiro	Instalado em New York, em 04/1911; ainda funcionava em 1916 (Weidenaar 1984: 539)
Geradores / Alternadores	408 <i>rheotomes</i> (alternadores baseados em escovas)	inicialmente, <i>rheotomes</i> ; versão final, 35 alternadores; transmissão por correntes	145; cada um usado para parciais de diversas notas; transmissão por engrenagens	140, mais potentes
Possibilidades de síntese	até ao 6º harm. (4º e 2º nas oitavas mais agudas)	2 a 3 harm. por nota	6 harmónicos nas primeiras 3 oitavas <sup>40</sup>	
Teclados, Dinâmica	84 notas (7 oitavas) teclado sensível, pode modular cada som	12 notas (1 oitava) controlo de volume (teclado sensível?)	2 / 3 teclados (5 oitavas, 144 teclas) não controla o volume	2 teclados «normais» controlo de volume (teclado sensível?)
Afinação			temp. igual e af. natural	temperamento igual <sup>41</sup>
Altifalantes / Receptores Telefónicos	transdutor acoplado a um tampo de piano	transdutores acoplados a cones de papel	diafragmas finos: bons graves, mas com ruidos parasitas; debitava até 1 A por receptor telefónico	diafragma maior e mais pesado resolve ruidos parasitas
Dimensões, Peso, Potência			comp.: 18 m, 200 toneladas; motor 185 cv.	20 x 4 m
Uso		protótipo; transmissões por linha telefónica, experimentais e de demonstração, desde 1900	uso comercial; Telharmonic Hall (NY), 26/09/1906 a 02/1908; por linhas desde 09/11/1906	demonstrações não comerciais; Holyoke, 04/1910; Carnegie Hall, 02/1912 até c.1914 <sup>42</sup> ou depois

A sensibilidade do teclado era obtida pelo facto de cada tecla mover o núcleo de um transformador, controlando assim a intensidade (Weidenaar 1984: 537).<sup>43</sup> O terceiro teclado, adicionado ainda em 1906 ao segundo instrumento, permitia realizar simultaneamente três vozes com timbres diferentes (Holmes 2002: 51). Possibilitava também o uso alternado do temperamento igual e da afinação natural, aproveitando as 36 teclas / oitava dos 3 teclados (Weidenaar 1984: 538). Em Obsolete (1998o) é feita a seguinte observação:

The visionary 36-note-per-octave keyboard designed around Cahill's ideas of just Intonation were far ahead of their time musically but proved unpopular with musicians who had little time to practice on the unusual keyboard. This factor eventually added to the demise of the instrument. [O teclado visionário de 36 notas por oitava concebido a partir das ideias de afinação natural de Cahill estava muito à frente do seu tempo musicalmente, mas tornou-se impopular entre os músicos que tinham pouco tempo para praticar no pouco usual teclado. Este factor viria eventualmente a contribuir para o abandono do instrumento.]

A possibilidade de usar alturas que não correspondem à divisão temperada da oitava terá sido provavelmente mais uma influência da obra de Helmholtz, cuja tradução inglesa é realizada por Alexander Ellis, que acrescenta notas e apêndices (Henrique 2003: 40). Ellis foi um pioneiro no estudo e descrição de escalas com base na medição rigorosa dos intervalos e nesses apêndices e notas inclui vasta informação relativamente a sistemas não temperados de divisão da oitava e escalas extra-europeias.

A discussão e experimentação de sistemas diversos de divisão da oitava que diferenciavam notas enarmónicas estivera em voga em Itália nos sécs.XV-XVI, voltando a despertar algum interesse a partir de meados do séc.XIX, atingindo o apogeu na década de 1920, com a sistematização de Alois Hába. Numa e noutra épocas houvera alguma confusão entre duas razões para experimentar diferentes divisões da oitava:

1. Para experimentar novas combinações sonoras (a recuperação do género enarmónico grego ou a exploração dos intervalos microtonais).
2. Para obter um maior grau de consonância (a razão de ser de sistemas como as afinações natural e mesatónica).

Parece-me provável que a razão de Cahill pretender mais de doze notas na oitava fosse a obtenção de uma maior justeza harmónica, já que este aspecto é muito relevante num instrumento de sons sustentados que faz síntese aditiva rigorosa com um número limitado de harmónicos, onde o desvio em relação aos intervalos naturais é susceptível de produzir sistemas de batimentos regulares, claramente audíveis e incómodos. Por outro lado, como vimos, Busoni interessara-se pelo instrumento pelo seu suposto potencial para a realização de



intervalos microtonais, no sentido de explorar novas combinações de alturas (não necessariamente harmónicas).

### 3.1.1. Varèse e o Telharmonium

Parece haver assim um equívoco da parte de Busoni, ao tentar encontrar no instrumento de Cahill a solução para um problema distinto do que levava o inventor a encontrar uma solução não temperada. Segundo Wen-Chung, Varèse – de quem Busoni fôra um dos principais mentores – ao assistir a uma demonstração do *telharmonium* após a sua chegada aos EUA em finais de 1915, ficou «desapontado» (Wen-Chung 1998: 12). Que razões terá havido para que isto acontecesse? Ocorrem-me várias hipóteses, talvez complementares:

1. Tal como Busoni, o que Varèse pretendia de um instrumento não era o mesmo que Cahill (o «equívoco» que referi).
2. O instrumento existente quando Varèse chegou aos EUA era o terceiro, que só dispunha de dois teclados e presumivelmente abandonara já a possibilidade de usar afinação não temperada.
3. Embora este instrumento se encontrasse em condições operacionais pelo menos até 1916, é possível que, dado que a empresa de Cahill abrira falência há mais de um ano, o seu estado não fosse ideal quando Varèse o ouviu.
4. O interesse de Varèse podia neste momento estar mais voltado para a exploração de dois elementos marcantes da sua primeira fase americana – as sirenes, usadas pela primeira vez em *Amériques* (comp. 1919-22), ou os sons não periódicos da percussão em *Ionization* (comp. 1930-31) – do que para a síntese de espectros periódicos em notas musicais cuja afinação era condicionada pela descontinuidade das notas do sistema temperado.
5. Embora a patente de 1896 preveja um âmbito de 7 oitavas, explorando frequências (incluindo harmónicos) entre 40 e 4000 Hz (Obsolete 1998o), os instrumentos que Cahill construiu suprimem as duas oitavas mais agudas. Porém, no domínio das alturas definidas é precisamente o registo agudo que Varèse

parece mais predisposto a explorar: como veremos mais adiante (cf. 3.4), para *Equatorial* (comp. 1933-34) ele encomendou a Lev Theremin dois instrumentos especiais, um deles capaz de produzir frequências até 12.544,2 Hz (Sol<sub>8</sub>) (Varèse 1959b).

Parece-me assim provável que, apesar das suas vastas e inovadoras possibilidades de exploração sonora, o *telharmonium* não viesse ao encontro do instrumento ideal que correspondia à demanda de Varèse.

### 3.1.2.Limitações Práticas

O Telharmonium antecipa os princípios do órgão Hammond e da síntese aditiva. Na patente de 04/02/1896 Cahill usa mesmo a palavra *synthesizing* para descrever o processo usado, e fala de *electric music*<sup>44</sup> (Holmes 2002: 45). Para além das dificuldades dos executantes, que não teriam tempo suficiente para preparar os concertos diários num instrumento tão pouco convencionada, Weidenaar (1994: 538) refere as seguintes limitações:

- 1.O volume diminuía quando se acrescentavam vozes, de modo que um acorde podia soar mais fraco do que uma nota. Este fenómeno começou a produzir-se quando, no segundo instrumento, Cahill passou a usar um só alternador para gerar parciais de várias notas, passando a ser insuficiente a energia gerada.
- 2.Os graves soavam com um staccato exagerado, produzindo ruídos parasitas. Os transdutores do segundo instrumento, ao usarem um diafragma mais fino que o habitual para reproduzirem melhor os graves, criavam por vezes esses ruídos.<sup>45</sup> Este problema foi corrigido no terceiro *telharmonium*.
- 3.O timbre era demasiado constante, sendo considerado irritante.<sup>46</sup>

A estas, acrescento as seguintes:

4. Não havia ainda na época dispositivos electrónicos que permitissem amplificar sinais. Como vimos em 2.2, apesar de o *audion* ter sido inventado em 1906 o seu potencial como amplificador só foi compreendido quando o *telharmonium* se encontrava no final da sua vida. Por isso o sinal eléctrico tinha de ser produzido já com a quantidade de energia necessária para o enviar aonde fosse necessário e de o transformar em som no destino. Daí as enormes dimensões do *telharmonium*, com os resultantes problemas de interferência nas linhas telefónicas e de perturbações na rede eléctrica.
5. As oscilações eram produzidas por meios mecânicos (a rotação de eixos a uma velocidade constante), o que criava limitações práticas, como as dimensões e peso, o próprio ruído de funcionamento – o instrumento tinha de ser encerrado numa cave separada da consola – ou simplesmente a quantidade de matéria-prima e de trabalho necessários para o construir.
6. Não existiam ainda transdutores capazes de transformar um sinal eléctrico num sinal acústico de modo a difundir eficazmente sinais numa banda larga de frequências. Como vimos (cf. 2.4 e 2.9), isso só veio a acontecer c.1925.
7. O *telharmonium* partiu do modelo do órgão tradicional (o qual também já explorava uma forma empírica de síntese aditiva nos registos de mistura). Historicamente, as limitações dos teclados de instrumentos como o órgão haviam sido a principal razão da adopção dos temperamentos desiguais, e posteriormente, do temperamento igual. A tentativa de explorar, partindo de um tal modelo, o sistema natural era de algum modo uma incoerência, uma batalha perdida.
8. Ao basear-se num teclado o *telharmonium* estava limitado, no plano das alturas, a um conjunto específico de alturas discretas (sob este ponto de vista, as sirenes de Varèse eram mais versáteis).

Estas limitações terão sido algumas das causas do insucesso, a longo prazo, do *telharmonium*. Algumas delas foram superadas com o desenvolvimento de instrumentos que exploravam um domínio apenas emergente: o da electrónica.

### 3.2. Electricidade, Electrónica e Instrumentos Musicais

Ao falarmos de *electrónica* convém em primeiro lugar esclarecer algumas questões de terminologia. A musicologia do séc.XX estabeleceu a distinção entre instrumentos eléctricos e electrónicos tomando como base o método de oscilação. Assim, eles são divididos conforme:

1. Usam recursos eléctricos ou electrónicos apenas em *sistemas auxiliares ou de controlo*, enquanto o processo de produção e radiação das oscilações é puramente acústico. É o caso dos órgãos de tubos que possuem consolas electrónicas e/ou insufladores eléctricos, bem como dos pianos convencionais a que é aplicado um sistema MIDI. Inclui-se aqui o *clavessin électrique* [cravo eléctrico], um carrilhão construído em 1759 por Jean-Baptiste de Laborde em que para cada nota havia dois pequenos sinos a unísono com cargas electroestáticas idênticas. Entre os dois sinos havia um pequeno badalo metálico, que era atraído alternadamente para um e outros quando, ao carregar numa tecla, se suprimia a carga de um deles (Davies 1984b).
2. Possuem um *oscilador acústico* cujas vibrações são transformadas, através de um *transdutor*, num sinal eléctrico, que é *amplificado*, eventualmente modificado electronicamente e reproduzido por um novo transdutor. É o caso da guitarra eléctrica e do piano Fender;
3. O som é produzido por *sistemas mecânicos (não vibratórios)* que por sua vez dão origem a sinais eléctricos alternados, com as frequências desejadas. É o caso do *telharmonium* e do *órgão Hammond*.
4. A *oscilação* é produzida por *meios puramente electrónicos*, apenas existindo como vibração a partir do momento em que um transdutor a reproduz. Sachs (1940:

447) chama-lhes *radioelectric instruments* [instrumentos radioelétricos], um indício do domínio tecnológico a que se encontravam associados na década de 1930 e que nos dá pistas sobre a sua origem.

Na organologia tradicional os instrumentos do tipo #1 são vistos exactamente como os seus correspondentes sem qualquer componente eléctrico ou electrónico (tal como a aplicação do sistema Boehm à flauta não altera a sua classificação). Os do tipo #2 são considerados *instrumentos eléctricos* e classificados, no sistema de Hornbostel-Sachs, em função do tipo de corpo vibrante, enquanto os dos tipos #3 e #4 são *instrumentos electrónicos* ou *electrophones*.

A distinção entre *eléctrico* e *electrónico* foi já abordada. A data apresentada em Webster's (1996: 629) para a introdução do termo *electronics* na língua inglesa é 1905-1910, uma data posterior à concepção do *telharmonium*. Na realidade, é a partir da invenção do *audion* que se pode falar de electrónica.

A produção de oscilações eléctricas era uma necessidade das primeiras experiências de comunicação via rádio. Porém, até c.1900 os osciladores usados apenas conseguiam produzir oscilações de radiofrequência amortecidas, adequadas para o telégrafo mas não para a transmissão de voz. Em 1899, ao tentar reduzir o ruído produzido pelas lâmpadas de arco voltaico<sup>47</sup> usadas na iluminação pública em Londres, William Duddell descobriu que variando a tensão eléctrica que lhes era aplicada conseguia controlar a sua frequência de vibração, e que essa vibração era acompanhada de oscilações na corrente eléctrica que a atravessava (Obsolete 1998q). Foi assim descoberto o primeiro oscilador eléctrico capaz de produzir oscilações alimentadas. Este tipo de oscilador teve duas aplicações:

- 1.A emissão de ondas electromagnéticas moduladas por sinais áudio. Aplicando um microfone de carvão em série com o arco voltaico fazia-se com que a sua frequência de oscilação variasse de acordo com o som que o microfone captava; aplicando uma antena no circuito essas ondas eram radiadas, podendo com um receptor adequado, ser de novo transformadas em som. As primeiras experiências de emissão *radiofónica* (por oposição à *radiotelegráfica*) baseavam-se neste método.

2. Através do uso de um teclado, que controla a tensão aplicada ao arco voltaico, é possível produzir notas musicais sustentadas, que podem ser transmitidas por linhas telefônicas (como no *telharmonium*) para serem ouvidas num receptor telefónico do outro lado. É este o princípio usado por Duddell no seu *singing arc* [arco cantante], um instrumento musical que foi exibido essencialmente como curiosidade científica (Obsoleto 1998q).

Desde a descoberta de Dudley foram achados outros métodos para criar correntes alternadas de amplitude constante. Para criar uma oscilação alimentada por meios puramente electrónicos são necessários:

1. Um dispositivo capaz de controlar uma corrente eléctrica à saída em função de uma tensão ou corrente de entrada, como o já referido *audion* (cf. 2.2).
2. Uma forma de enviar, nesse dispositivo, o sinal de saída de volta à entrada, de uma das seguintes formas:
  - 2.1. Através de um circuito ressonante, sintonizado à frequência desejada. É o método usado nos primeiros osciladores com *audions*, que usam conjuntos formados por uma bobina (L) e um condensador (C) para obter a ressonância desejada (osciladores LC).
  - 2.2. Com um atraso determinado e em inversão de fase. Isto pode-se obter através de circuitos que combinam resistências e condensadores, ou bobinas e condensadores (osciladores tipo Wien, multivibradores, etc.), uma técnica que só foi descoberta mais tarde.

Embora todos esses componentes existissem desde 1906 só quase uma década mais tarde – quando o *telharmonium* já se encontrava em fim de vida – é que foram explorados para gerar electronicamente sons.

### 3.3.O *Audion Piano* de Lee De Forest e a Invenção do Oscilador Electrónico

Em Abril de 1915 Lee De Forest registou uma patente de «electrical means for producing musical notes» [meios eléctricos de produzir notas musicais] (Chadabe 1997: 7). Nessa patente ele descreve a aplicação do *audion* como oscilador, para produzir sinais áudio. Em 1916 registou também em França a patente de um oscilador (Davies 1984a: 84).

Forest desenvolveu um primeiro protótipo de instrumento de tecla com um oscilador por oitava (que portanto só podia produzir várias notas se estas se encontrassem em oitavas diferentes) e posteriormente o *audion piano*, com um oscilador por nota. Segundo Davies (1984a: 84), o inventor não conseguiu completar um instrumento funcional devido à instabilidade e reduzida fiabilidade que o *audion* ainda apresentava (Davies 1984a: 84).<sup>48</sup> A fiabilidade é aliás uma das preocupações reveladas desde o princípio pelo inventor, que refere:

A large number of experiments have been carried out with a view to reducing the filament heat necessary to give the inclosed type of the audion the extreme sensitiveness which now characterizes it. This is now attained at normal brilliancy of the filament, or a little below; never at excessive heats. Thus the life of an audion should be that of an incandescent lamp of the same class of filament and voltage. [Tem sido realizado um elevado número de experiências no sentido de reduzir o aquecimento do filamento necessário para dar ao *audion* do tipo fechado a extrema sensibilidade que agora o caracteriza. Isto é agora obtido ao brilho normal do filamento, ou um pouco abaixo; nunca com aquecimentos excessivos. Desta forma, a vida de um audion deverá ser a de uma lâmpada de incandescência com a mesma classe de filamento e voltagem.] (Forest 1907)

Sete anos mais tarde A. B. Cole, um dos colaboradores do inventor, explica o processo de teste dos *audions* e a sua distribuição por categorias em função da sensibilidade (ou ganho) de cada um que é produzido. Esta descrição dá-nos uma ideia da reduzida fiabilidade do processo de produção:

The only practical method is to compare with a standard, under actual working conditions, receiving weak signals. (...) If the unknown bulb is equal to or better than the standard, it is passed, but otherwise discarded. If it is sufficiently more sensitive, it is passed as the "X" or extra sensitive grade. There may be one X grade bulb in 100 or there may be twenty – no one can tell. There may be ten S grade bulbs in 100 or there may be fifty. [O único método prático é comparar com um (audion) padrão, em condições operacionais, recebendo sinais (de rádio) fracos. (...) Se a válvula desconhecida for igual ou melhor do que a padrão, é aprovada, mas de outra forma é desaproveitada. Se for suficientemente mais sensível, é aprovada como de nível 'X' ou extra sensível. Pode haver uma X em 100 ou pode haver 20 – ninguém sabe. Pode haver dez de nível 'S' em 100 ou pode haver 50.] (Cole 1916)

Secor, ao enumerar as aplicações práticas do *audion*, refere um *audion organ* (fig.3.2) que teria sido descrito em 12/1915 na revista *Electrical Experimenter*. Ele realça o facto de os seus osciladores produzirem oscilações alimentadas, algo que só a capacidade amplificadora do novo componente veio permitir:



Fig. 3.2 – Ilustração do *audion organ* (Secor 1920)

This device brings out one of the prominent characteristics of the audion, i. e., that once it has been set to oscillating under certain capacity and inductance circuit conditions, it will invariably maintain this condition for an indefinite period and, furthermore, the frequency of the oscillation or the rate at which the circuit vibrates will depend upon the capacity and inductance in the circuit connected to the audion. [Este dispositivo realça uma das características proeminentes do audion, *i. e.*, que uma vez posto a oscilar perante certas condições quanto à capacitância e indutância do seu circuito, irá manter invariavelmente estas condições por um período indefinido e, além disso, a frequência da oscilação ou a taxa a que o circuito vibra dependerá da capacitância e indutância do circuito ligado ao audion.] (Secor 1920)

Há dois aspectos na descrição de Secor que considero de particular interesse:

- 1.O realce concedido ao facto de o audion, «uma vez posto a oscilar [...] manter invariavelmente estas condições por um período indefinido».
- 2.A referência à capacitância e à indutância, mostrando que se trata indubitavelmente de um oscilador LC (cf. 3.2).



Dado que toda a informação relativa ao *audion piano* é vaga não sabemos se o projecto descrito corresponde a este instrumento ou a uma variante sua. No *audion piano*, segundo De Forest,

[...] the pitch of the notes is very easily regulated by changing the capacity or the inductance in the circuits, which can be easily effected by a sliding contact or simply by turning the knob of a condenser. In fact, the pitch of the notes can be changed by merely putting the finger on certain parts of the circuit. In this way very weird and beautiful effects can easily be obtained.» [A altura das notas é regulada muito facilmente mudando a capacitância ou a indutância dos circuitos, o que se pode conseguir muito facilmente através de um contacto deslizante ou simplesmente rodando o botão de um condensador. De facto, a altura das notas pode ser alterada simplesmente colocando o dedo em certas partes do circuito. Pode-se deste modo obter facilmente efeitos muito bizarros e belos.] (Obsolete 1998e)

Esta descrição permite-nos compreender várias coisas sobre o instrumento. Em primeiro lugar, relativamente ao tipo de osciladores. Quando Forest refere que a altura (*i.e.*, a frequência) pode ser regulada variando a capacitância ou a indutância dos circuitos está a confirmar-nos que se tratava de osciladores LC, ou seja, que usam uma bobina e um condensador como circuito ressonante. Também indica que era possível de alguma forma ajustar o valor destes componentes.<sup>49</sup>

A frequência de ressonância de um circuito LC é dada pela fórmula  $f = 1 / 2\pi LC$ , em que L e C são os valores de indutância e capacitância, medidas em Henry (H) e Farad (F), da bobina e do condensador usados. Normalmente, os valores destes componentes medem-se em submúltiplos (mH ou  $\mu$ H no caso das bobinas,  $\mu$ F, nF ou pF nos condensadores). Assim, p. ex., para produzir um circuito LC ressonante a 1.000 Hz teríamos:

$$1000 = 1 / 6,28 LC \Rightarrow 6280 = 1 / LC \Rightarrow LC = 1 / 6280$$

Neste caso concreto precisaríamos de obter bobinas e condensadores com valores da ordem das centenas de mH e dos milhares de  $\mu$ F. Tais componentes seriam difíceis de obter e de grandes dimensões, já que:

- 1.As bobinas teriam de ter muitas espiras de condutor enrolado e os enrolamentos tinham de ser de grandes dimensões ou ter um núcleo no seu interior de um material magnético (como vimos em 2.4 tais materiais iriam sofrer melhorias significativas durante a primeira metade do séc.XX).
- 2.Para um condensador ter este valor não poderia ter apenas ar entre as placas, como dielétrico: precisaria de ter um electrólito. Um tal condensador é virtualmente impossível de ajustar com precisão.

Se a frequência fosse mais baixa (1.000 Hz é um som já consideravelmente agudo, próximo do Dó<sub>5</sub>) o problema só se agravaria, pelo que a construção de osciladores LC ajustáveis para frequências de áudio era no mínimo uma tarefa muito pouco prática. Note-se ainda que na década de 1910 há um investimento considerável na emissão de voz por via rádio (*radiofonia*), e que para este tipo de equipamento são necessários osciladores e circuitos ressonantes para frequências muito mais elevadas que as de áudio, pelo que os primeiros osciladores que usavam o *audion* teriam naturalmente frequências de pelo menos algumas dezenas de kHz.

Assim, no *audion piano* a oscilação numa frequência de áudio era obtida por um processo que hoje em dia nos pode parecer uma complicação desnecessária: eram usados dois osciladores ajustados a radiofrequências ligeiramente diferentes. Ao misturar os seus sinais o resultado variará periodicamente de amplitude a uma frequência igual à diferença entre as dos dois osciladores. Qualquer não linearidade no circuito que o sinal resultante atravessa (o próprio transdutor, o sistema auditivo do ouvinte, mas provavelmente neste caso um *audion* a funcionar como os rectificadores dos receptores de radiofonia) transformará esta variação de amplitude num verdadeiro sinal de frequência correspondente a essa diferença (componente *heteródino*). Este princípio, semelhante ao fenómeno acústico dos sons diferenciais, descrito por Georg Sorge em 1748 (Henrique 2002: 27), foi amplamente explorado em instrumentos musicais criados nos vinte anos seguintes. Explica-se assim em parte o emprego, ainda por volta de 1940, do termo *instrumentos radioeléctricos* para os instrumentos electrónicos.

Em relação ao uso de osciladores de áudio propriamente ditos, o método da *heterodinização* tem uma vantagem e uma desvantagem:

1. Permite, com pequenas variações dos valores do condensador ou bobina de um oscilador, varrer toda a gama de audio (se um oscilador estiver a 80 kHz bastará que o outro varie entre 80.020 e 100.000 Hz).
2. Dado que o que se ouve é a *diferença* entre as frequências, a mais pequena instabilidade em qualquer dos osciladores produzirá uma alteração notável na altura do som.

No texto há pouco referido Forest constata que «colocando o dedo em certas partes do circuito» é possível alterar a altura das notas, obtendo-se «facilmente efeitos muito bizarros e belos»: trata-se de uma exploração criativa de uma potencial causa de instabilidade. Este efeito constituía a pedra angular do instrumento que o engenheiro russo Lev Termen desenvolveu poucos anos mais tarde.

### 3.4.O Theremin

[...] we make divers tremblings and warblings of sounds, which in their original are entire [produzimos diversos trêmulos e flutuações de sons, que no seu original são inteiros] (Bacon 1626: 12)

Ao abordar o *telharmonium* (cf. 3.2) referi oito limitações que o instrumento apresentava. Vamos agora verificar como algumas inovações tecnológicas permitiram superar cada uma destas limitações (que por uma questão de simplicidade referenciarei como #1 a #8, com base no número do parágrafo com que foram mencionadas em 3.2).

A existência do *audion* e, sobretudo, o conhecimento, em meados da década de 1910, da sua capacidade de funcionar como amplificador e como oscilador, permite superar as limitações #4 e #5. Por outro lado, o desenvolvimento de altifalantes de radiação directa entre 1918 e 1925 vai progressivamente resolver #6, bem como #2 (esta última já havia sido vencida no terceiro *telharmonium*).

A limitação #1 resulta da natureza polifónica do instrumento. Em 1917 um violoncelista e engenheiro no domínio da electrónica, Lev Sergeivitch Termen (ou Thermen), de nacionalidade russa, concluiu o seu primeiro protótipo de um instrumento que tirava proveito da capacidade amplificadora e osciladora do *audion*. Esse instrumento, chamado *theremin*, sendo monódico, contornava esta limitação.



Fig. 3.3 – Lev Termen mostrando o interior de um *theremin*, c.1928 (Holmes 2002: 53)

Mais interessante do ponto de vista musical, o este instrumento tinha o potencial para resolver também as limitações #3, #7 e #8 do *telharmonium*: não se baseava no modelo do órgão tradicional, nem sequer num teclado, e permitia modulações do som em altura e intensidade capazes de superar uma eventual monotonia tímbrica.<sup>50</sup> Na secção seguinte abordarei os meios através dos quais o conseguia.

### 3.4.1.Princípios de Funcionamento

Tal como o *audion piano*, o instrumento de Termen baseava-se em dois osciladores de radiofrequências – especificamente, um oscilador fixo a 170.000 Hz e um outro de frequência variável entre 168.000 e 170.000 Hz (Obsolete 1998c), produzindo assim sons que vão de 2.000 Hz (Dó<sub>6</sub>) até frequências infrassónicas.<sup>51</sup>

Para controlar a frequência do oscilador variável Termen explorou a instabilidade que resulta da aproximação do corpo humano aos componentes do oscilador. Este fenómeno, como vimos (cf. 3.3), havia já sido constatado por Forest: os efeitos «muito bizarros e belos» que este obtinha «colocando o dedo em certas partes do circuito» foram reproduzidos por Lev Termen aproximando ou afastando a mão de uma antena (fig.3.4).

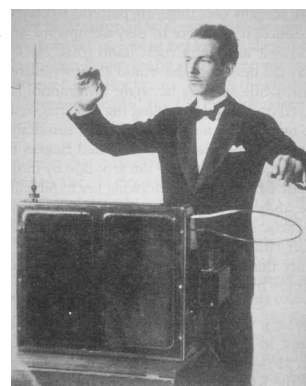


Fig. 3.4 – O *Theremin*, tocado por Lev Termen, em 1927 (Chadabe 1997: 9)

No *theremin* mão e o corpo do executante funcionam, em conjunto com a antena, como um condensador variável, colocado de

forma a alterar o valor do condensador do circuito LC (o sistema ressonante que determina a frequência do oscilador; cf.3.3). Segundo Holmes (2002: 54), quando se aproxima a mão a frequência aumenta. Uma explicação técnica dos fenómenos que dão origem a este efeito será:

- 1.Quando a mão se aproxima da antena a capacitância do circuito LC diminui.
- 2.Ao baixar a capacitância do circuito LC, o oscilador de frequência variável produz uma frequência mais baixa (mais perto dos 168.000Hz).
- 3.Como a frequência gerada pelo oscilador de frequência variável se afasta mais dos 170.000 Hz do oscilador fixo, a diferença entre as frequências dos dois osciladores aumenta.
- 4.Como o resultado sensorial corresponde à componente heteródina diferencial, ao aproximar a mão da antena o efeito sonoro é uma subida de altura.

A antena que controla a frequência é uma vara metálica vertical, mas existe uma outra antena, horizontal e de forma redonda, controlada pela mão esquerda. Esta segunda antena controla a intensidade do som: quando se aproxima a mão o som é atenuado, quando se eleva, afastando-se da antena, produz-se um crescendo de intensidade. Tal como nas sirenes «com um botão para paragem instantânea» (Blades 1992: 397) que Varèse requer em *Ionisation* e *Hyperprism*, o *theremin* produz um som contínuo e pode interrompê-lo quando necessário. Mais do que isto, no *theremin* é possível modular a intensidade do som, para além da sua frequência.

O funcionamento do sistema de controlo da intensidade merece alguma atenção. Segundo Rothman (1996: 844-845),<sup>52</sup> a amplitude era controlada graças a um oscilador ligado à segunda antena. O nível de saída deste oscilador era amortecido quando este se dessintonizava (abaixando a mão, aproximando-a da antena). A saída deste oscilador<sup>53</sup> era amplificada e usada para aquecer o filamento da válvula que amplificava a saída (devidamente rectificadas) dos outros dois osciladores. Dado que uma válvula só apresenta o seu máximo rendimento quando atinge uma determinada temperatura, esta válvula funcionava como um VCA.

Devemos ter em conta porém que o aquecimento / arrefecimento de uma válvula não é um processo instantâneo, pelo que a resposta do *theremin* aos gestos da mão esquerda era

lenta, e o efeito sonoro apenas se ouvia um pouco depois do gesto. Assim, não era possível efectuar modulações de amplitude súbitas (staccato, transitórios bruscos de ataque ou de extinção). Neste aspecto era um instrumento naturalmente «suave».

Quanto à forma de onda, segundo Rothman (1996: 847):

The original Theremins generated a slightly asymmetrical sinewave with a few percent total harmonic distortion. Later models included special distortion circuits to increase the harmonics to emulate a Violin tone. [...] Below around 100 Hz the waveform becomes more distorted due to the oscillators approaching lock and pulling on each other. Also, the filtering is less effective at low frequencies, this means the Theremin sounds more ‘buzzy’ at the low end as the waveform becomes more of a ramp. However, at higher audio frequencies the Theremin generates that characteristic smooth ethereal sound. [Os *theremins* originais geravam uma onda sinusoidal ligeiramente assimétrica com uma pequena percentagem<sup>54</sup> de distorção harmónica total. Modelos posteriores incluíam circuitos de distorção especiais para aumentar os harmónicos a fim de imitar um som de violino. (...) Abaixo de c.100 Hz a forma de onda torna-se mais distorcida pelo facto de os osciladores se aproximarem de um estado de bloqueio e de se influenciarem mutuamente. Além disso, a filtragem é menos eficaz a baixas frequências, isto significa que o *theremin* soa mais ‘zumbidor’ no extremo grave à medida que a onda se torna mais em dente de serra. Contudo, a frequências mais agudas o *theremin* gera aquele som característico, liso e etéreo.]

### 3.4.2.História

O nome inicial do *theremin* era *aetherophone* ou *etherophone*, nome com o qual o inventor o apresentou em Moscovo em 1920, e mais tarde, em 1922, a Lenine. Também era conhecido por *thereminvox*, «a voz de Termen» (Chadabe 1997: 8; Holmes 2002: 53; Bigbriar 2003).

Entre 1917 e 1938 Lev Termen não só foi aperfeiçoando o seu instrumento como também criando variantes (recordemos que neste período a qualidade dos altifalantes progrediu de forma acentuada, e que o resultado sonoro, tendo forçosamente que passar por um, terá também variado). É por isso muito difícil falar de um modelo padrão de *theremin*. O mais próximo que podemos encontrar é o modelo que foi comercializado, sob licença do inventor, pela RCA, em 1929. Foram produzidos 500 exemplares (Holmes 1997: 54; Bigbriar 2003)<sup>55</sup> e, não tendo grande sucesso comercial, o projecto foi abandonado. Segundo Holmes (2002:

54), a frequência máxima era c.1400 Hz e o âmbito de três oitavas e meia, o que corresponderia a uma frequência mínima de c.125 Hz (Si<sub>1</sub> – Fá<sub>5</sub>, aproximadamente). Relativamente ao instrumento original, «[it] is said to have had a range of five octaves» [diz-se que teria tido um âmbito de cinco oitavas] (*ibid.*).

Por intervenção de Lenine, Termen viajou pela URSS no início da década de 1920 para divulgar o instrumento. Após ter solicitado o registo de patentes na Alemanha e nos EUA em 1924-25 (Holmes 2002: 53), apresentou-se em *tournee* com o seu instrumento em Frankfurt, Berlin, London e Paris durante o ano de 1927 (Chadabe 1997: 8). A 21/12/1927 chegou a New York, onde permaneceu até 1938 (*ibid.*: 8, 10). A 24/01/1928 realizou uma apresentação privada (entre os promotores e convidados estavam Kreisler, Rachmaninov e Toscanini) no Plaza Hotel, a que se seguiram concertos públicos, no último dos quais, com a New York Philharmonic, a 27/08/1928, foram usados 4 *theremins* (*ibid.*: 8). Mês e meio depois Varèse partia para uma estadia de cinco anos em Paris.

Em New York Lev Termen teve vários alunos, entre os quais se destacaram Clara Rockmore e Lucie Bigelow Rosen. A primeira notabilizou-se pelo desenvolvimento de



um virtuosismo técnico Fig. 3.5 – Clara Rockmore (esq<sup>a</sup>) e Lucie Bigelow Rosen (dir<sup>a</sup>) (Holmes 2002: 55, 57). aplicado a repertório tradicional: Rachmaninov, Saint-Saëns, Stravinsky, Ravel, Tchaikovsky (Holmes 2002: 55), no fundo o mesmo repertório que o próprio inventor interpretava.

Lucie Rosen era casada com um advogado e banqueiro que entre 1930 e 1938 auxiliou Termen. A casa em que o inventor viveu neste período, para além de oficina, era um lugar visitado com frequência por músicos (Holmes 2002: 57-58). O seu interesse pelo *theremin* não vai tanto no sentido de exibir virtuosismo em repertório tradicional: ela promove a exploração das qualidades únicas do instrumento, encomendando obras a compositores como Bohuslav Martinů (*ibid.*: 56). O texto que se segue foi redigido por Lucie para os programas dos seus recitais, em meados da década de 1930:

It is the earnest desire of those who are working with this instrument that it shall cease to be a novelty. One does not bring out a new violin or piano every year, though these have undergone great changes [...] The only impossible thing to imagine is that these new resources should not be irresistibly fascinating to a real musician, or that one example of them should not be heard where any audience for living music is found. [É o mais sério desejo daqueles que trabalham com este instrumento que ele deixe de ser uma novidade. Não se apresenta um novo violino ou piano todos os anos, apesar de estes terem atravessado as maiores mudanças (...) A única coisa impossível é imaginar que estes novos recursos não sejam irresistivelmente fascinantes para um verdadeiro músico, ou que um exemplo deles não seja ouvido onde quer que se encontre um público para música viva.] (Holmes 2002: 57)

No manual que acompanhava o modelo RCA afirmava-se: «having no limitations such as keyboards, stops, etc., exceptional individuality of expression may be obtained» [não tendo limitações como teclados, registros, etc., pode-se obter uma individualidade de expressão excepcional] (Holmes 2002: 54). Apesar das potencialidades do interface do Thereminvox – que não só permite como favorece a exploração do *continuum* de alturas – os seus *virtuosi* da década de 1930 exploraram sobretudo a execução de obras tradicionais.

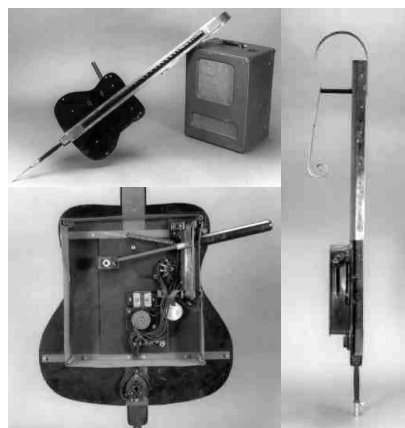
Lucie Rosen, tendo uma posição social e económica estável, podia seguir em demanda de um ideal sem se preocupar com a sua subsistência. Ela terá sido a exceção e não a regra. Certamente não era nela que Cage pensava quando, em 1937, escreveu:

When Thérémín provided an instrument with genuinely new possibilities Théréministes did their utmost to make the instrument sound like some old instrument giving it sickening sweet vibrato, and performing on it, with difficulty, masterpieces of the past. [Quando Thérémín forneceu um instrumento com possibilidades genuinamente novas os Théréministas deram o seu melhor para fazerem o instrumento soar como algum instrumento antiquado, dando-lhe um vibrato enjoativamente adocicado, e tocando nele, com dificuldade, obras primas do passado.] (Manning 1993: 15).



### 3.4.3.O Theremin Cello

Uma das variantes do *theremin*, criada c.1930<sup>56</sup> por Lev Termen, foi o *theremin cello* (fig. 3.6). Em Nmm (2003) é descrito assim:



**Fig. 3.6** – Três vistas de um *Theremin Cello* (ou *Cello Thermin*) de 1930, pertencente à Charles D. Stein Collection of Early Electronic Instruments (Teci 2001).

Instead of a string, it has a flexible, black plastic film fingerboard which, when touched, produces a tone. As long as the finger remains depressed, a tone is sustained. The volume is controlled by a lever on the player's right and the tone color is controlled by knobs. It has an external amplifier. No bow is necessary. [Em vez de uma corda tem uma escala flexível, de película plástica negra que, quando tocada, produz um som. Enquanto o dedo ficar premido o som é sustentado. O volume é controlado por uma alavanca à direita do executante e o timbre é controlado por botões. Tem um amplificador externo. Não é necessário arco.]

A «película plástica negra» seria provavelmente coberta de um material resistivo (talvez grânulos de carbono, o material mais comum nas resistências usadas em electrónica) que era premido contra um cilindro condutor. A ser este o caso, o instrumento já não se basearia na capacitância da mão e permitiria talvez um controlo mais estável da altura. Por outro lado, a alavanca (que provavelmente accionaria um reóstato, ou resistência variável) permitiria variações praticamente instantâneas de intensidade, ao contrário do que acontecia no *theremin* propriamente dito.

Alguns músicos encomendaram a Termen variantes específicas dos instrumentos que inventara. Dois casos são pertinentes para o nosso objecto de análise. O primeiro foi Stokowski, que para reforçar os baixos na Philadelphia Orchestra lhe pediu uma versão contrabaixo. Numa autobiografia de c.1966, Slonimsky recorda:

Stowkowski asked him to construct an instrument that would lend support to the low bass notes in the orchestra, and Theremin manufactured one that produced frequencies at the threshold of audibility. The infrasonic vibrations were so powerful in fact, that they hit the stomach physically, causing near nausea in the double-bass

section of the orchestra. Stokowski abandoned the project." [Stokowski pediu-lhe que construísse um instrumento para dar apoio aos subgraves da orquestra, e Theremin (*i. e.*, Lev Termen) fabricou um que produzia frequências no limiar (*i. e.*, no limite grave) da audibilidade. As vibrações infrassónicas eram tão poderosas, de facto, que atingiam fisicamente o estômago, provocando quase náuseas na secção de contrabaixos da orquestra.] (Teci 2001)

O New York Times de 18/10/1932 (Varèse estava ainda em Paris) noticia o concerto da véspera, em Philadelphia:

Reverberations fairly rocked the Academy of Music this afternoon as Leopold Stokowski augmented the resources of the Philadelphia Orchestra with the electric Theremin in the transcription of Debussy's [sic] piano prelude of 'The Engulfed Cathedral.' Karl Zeise of the cello section played the modern instrument, which provided a ground bass for the entire orchestra below the compass of its closest competitors. [Reverberações abalaram fortemente a Academy of Music esta tarde quando Leopold Stokowski ampliou os recursos da Orquestra de Philadelphia com o *theremin* eléctrico na transcrição do prelúdio para piano de Debussy 'A Catedral Submersa.' Karl Zeise da secção de violoncelos tocou o instrumento moderno, que forneceu um baixo para toda a orquestra numa tessitura mais grave que a dos seus concorrentes mais próximos.] (Teci 2001)

Também Varèse, no seu regresso de Paris em 1933, ao trabalhar em *Equatorial*, Varèse encomendou a Termen dois instrumentos, com características tonais e dinâmicas precisas: um dos motivos do compositor era a pretensão de atingir o Sol<sub>8</sub> (cf.3.1.1). Estes instrumentos foram utilizados na estreia da obra, em 1934 (Holmes 2002: 59).

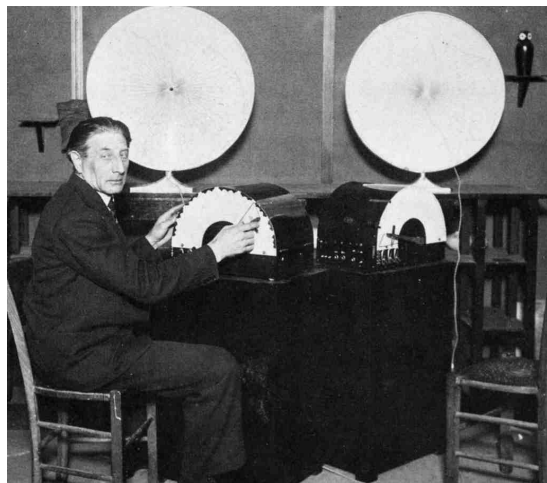
### 3.5. René Bertrand e o Dynaphone

We have harmony which you have not, of quarter-sounds and lesser slides of sounds [Temos harmonia que vós não tendes, de quartos de tom e desvios (glissandos) ainda mais pequenos de sons] (Bacon 1626: 12)

Vinte anos antes de *Equatorial*, em 05/1913, Varèse travara conhecimento em Paris com um engenheiro no domínio da electrónica e inventor chamado René Bertrand (MacDonald 2003: 6). Bertrand realizava experimentação com instrumentos electrónicos desde 1914 ou

1917 (Davies 1984c, Obsolete 1998g) e ficou conhecido pela invenção, em 1927-28, de um instrumento electrónico chamado *dynaphone*, estreado em 1928 com obras de Ernest Fromaigeat e de Arthur Honegger. O *dynaphone* era um instrumento com oscilador a válvula, portátil, monofónico, sem teclado, operado através de um botão com mostrador, com um diâmetro de 30 cm, tocado sobre uma mesa (Obsolete 1998g; Davies 1984c).

O âmbito do instrumento era de 5 oitavas, mas podia, através de um interruptor, ser mudado uma ou duas oitavas, abrangendo assim no total 7 oitavas (*ibid.*). O perímetro de uma semicircunferência de 30 cm de diâmetro é da ordem dos 45 cm. Assim, se o espaço percorrido no mostrador fosse proporcional ao intervalo musical teríamos 9 cm para cada oitava, ou seja, 7-8 mm por meio-tom,



**Fig. 3.7** – René Bertrand com o seu *dynaphone* (Louise Varèse 1972: 146-147).

o que já permitiria alguma experimentação com intervalos microtonais – mas, mais importante, como não tinha teclado não estava limitado a qualquer organização arbitrária de alturas.

A mão esquerda controlava o volume e o timbre. O botão principal (da mão direita) tinha um pulsador para articular o som (Davies 1984c) – como as sirenes de Varèse, cuja visita a Paris em 1928 tinha como um dos motivos principais o permitir-lhe pôr-se a par, com Bertrand, dos progressos mais recentes na electrónica, tendo em vista uma eventual colaboração na criação de um instrumento que viesse ao encontro das suas necessidades.

### 3.6.As Ondes Martenot

Quando, a 30/05/1929, Varèse apresentou em Paris *Amérique* não dispunha das sirenes que usara na estreia da obra em Philadelphia (09/04/1926), adaptando-as para um instrumento electrónico que havia sido apresentado um ano antes. Originalmente designado

*ondes musicales* – mais tarde, *ondes Martenot* – este instrumento fora inventado por um violoncelista e radiotelegrafista francês chamado Maurice Martenot.<sup>57</sup>

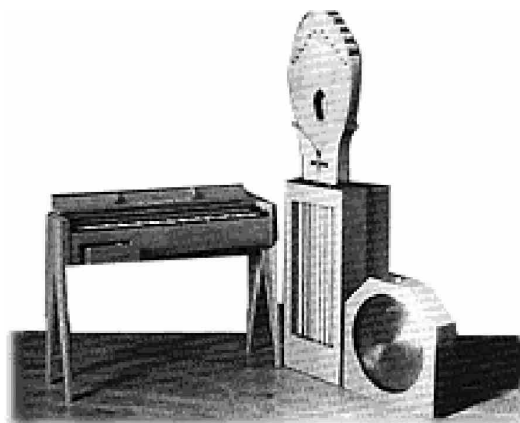
Martenot, que conhecera Lev Termen em 1923, registou a 01/04/1928 uma patente designada «perfectionnements aux instruments de musique électriques» [aperfeiçoamentos nos instrumentos de música eléctricos] (Obsoleto 1998k; note-se o uso do termo *électrique*, embora se trate de um instrumento *electrónico*). Tal como o *theremin*, o instrumento de Martenot é monódico, com dois osciladores a válvula de alta frequência. As frequências dos osciladores são porém inferiores: o oscilador fixo produz 80 kHz e o variável uma frequência mais baixa (Orton 1984a) – p. ex., 79 kHz para produzir um som de 1.000 Hz.

Uma outra diferença entre estes dois instrumentos diz respeito à interface com o utilizador: em vez da antena do theremin existia, nas primeiras versões das *ondes Martenot*, um fio metálico ligado a um anel, que era colocado no indicador direito. Esse fio regulava um condensador variável, que por sua vez ajustava a frequência de um dos osciladores (Holmes 2002: 66).<sup>58</sup> Havia ainda controlos de timbre (filtros) e volume accionados pela mão esquerda (Orton 1984a: 817; Holmes 2002: 66). Foi adicionada uma alavanca controlada pelo joelho direito que, movimentado-se na vertical, criava transições tímbricas (Chadabe 1997: 12).

Em versões posteriores o fio foi substituído por uma fita, junto ao desenho de um teclado. Já no início da década de 1930 foi-lhe acrescentado um teclado real (Orton 1984a: 817), que permitia movimentos laterais nas teclas, e foi recuperando o sistema anel + fio, permitindo glissandos. Holmes (2002: 66) refere que em 1929 haviam sido já ensaiadas formas rudimentares de teclado (talvez o teclado desenhado, associado à fita?) e que em 1932, após alguns melhoramentos, resultou um instrumento praticamente igual ao actual. Uma versão introduzida em 1938 permitiu o uso de sistemas microtonais de raiz indiana (Obsoleto 1988k).

Assim, os instrumentos usados por Varèse na versão parisiense de *Amériques* terão sido diferentes das *ondes Martenot* que mais nos habituamos a ver: o teclado seria inexistente ou uma mera referência visual. A interface do instrumento não seria porém muito diferente da do *dynaphone* de Bertrand (só que com movimento linear em vez de rotativo). Apresentaria igualmente semelhanças com um aparelho que em 1957, ao preparar o *Poème Electronique*, Varèse terá encontrado no estúdio de Eindhoven (cf. 6.3).

Holmes (2002: 67-68) faz notar a existência de quatro *diffuseurs* (altifalantes) diferentes, que Martenot disponibilizou para os seus instrumentos (fig.3.8):



**Fig. 3.8** – Versão de concerto das *ondes Martenot*, com os *diffuseurs* do tipo *palme* (em cima), *résonance* e *métalique* (em baixo) (Obsoleto 1998k).

- 1.O *haut-parleur*, um altifalante comum, numa caixa de madeira rectangular simples, era o que permitia obter maior intensidade.
- 2.O *résonance*, tinha uma série de lâminas de plástico transparentes na vertical, criando ressonâncias invulgares.
- 3.O *métalique*, em que o som era reproduzido por um transdutor aplicado directamente a um gong metálico (uma reminiscência dos antigos altifalantes de armadura?). Patenteado em 1947 (Orton 1984a).
- 4.O *palme* tinha uma caixa de ressonância com 12 cordas esticadas à frente e atrás, havendo um transdutor directamente acoplado às cordas. Patenteado em 1947 (Orton 1984a).

Para apresentar o seu instrumento em Paris, em 1928, Martenot encomendara a Dimitri Levidi uma obra – *Poema Sinfónico para Ondas Martenot Solo e Orquestra* – que explorava as possibilidades do instrumento, nomeadamente ao nível da produção de quartos e oitavos de tom (Holmes 2002: 65) – um recurso que estava na moda na década de 1920 e que será frequentemente explorado pelos compositores que escrevem para o instrumento. Em 1932 Leopold Stokowsky trouxe Martenot aos EUA para tocar com a Philadelphia Orchestra a obra de Levidi (Chadabe 1997: 12; Holmes 2002: 68).

De todos os instrumentos electrónicos, foi este o que melhor conseguiu obter o estatuto de «instrumento sério» – em grande parte devido ao interesse que por ele manifestaram músicos como Messiaen, Jolivet (que foi aluno de Varèse), Honneger e Milhaud. Dada a versatilidade das *ondes Martenot* – uma versatilidade que não diminuiu com a adopção do teclado – é um pouco estranho que Varèse não o tenha explorado mais, e que tenha mesmo preferido o *theremin cello* especial para *Equatorial* (cf. 3.4.3), uma obra que foi composta

quando ele já tivera contacto directo com as *ondes*. Em 1936, numa conferência em Santa Fe (New Mexico), Varèse realizou demonstrações com um *theremin*. Terá sido apenas o facto de dispor de um destes instrumentos e não de umas *ondes*? Estaria ele mais interessado nas possibilidades específicas de trabalhar livremente a altura do som, sem quaisquer restrições, com um timbre tão neutro / impessoal / etéreo como o das ondas quase sinusoidais que o *theremin* produzia?

### 3.7.Os Instrumentos de Givelet e Trautwein

Numa carta de 06/02/1933 dirigida à John Simon Guggenheim Memorial Foundation (cf. cap.5), ao referir-se ao instrumento inventado por René Bertrand, Varèse escreveu:

The Dynaphone (invented 1927-28) is a musical instrument of electrical oscillations somewhat similar to the Theremin, Givelet and Martenot electrical instruments. But its principle and operation are entirely different, the resemblance being only superficial. [O *dynaphone* (inventado em 1927-28) é um instrumento musical de oscilações eléctricas algo similar aos instrumentos de Theremin, Givelet e Martenot. Mas o seu princípio e operação são totalmente diferentes, sendo a semelhança meramente superficial.] (Manning 1993: 9; Chadabe 1997: 59)

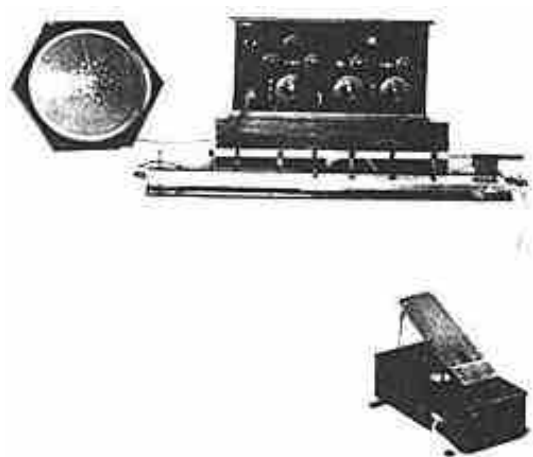
A par com o *theremin* e as *ondes Martenot*, diversos instrumentos electrónicos foram apresentados publicamente em Paris entre 1927 e 1930 (Davies 2001: 81). Foi nesse período que um engenheiro do laboratório de rádio da Torre Eiffel, Armand Givelet, criou uma série de instrumentos recorrendo a osciladores electrónicos em colaboração com o organeiro Eduard Eloi Coupleux<sup>59</sup> (Davies 1984d: 51; Obsolete 1998f):

- 1.Em 1927 o *clavier à lampes* [*teclado de válvulas*], instrumento de tecla monódico; no ano seguinte, Givelet demonstra a possibilidade de ligar directamente o sinal eléctrico de saída a um emissor de rádio, evitando as perdas de qualidade de altifalante e microfone.
- 2.Em 1929 um *sintetizador*, cuja patente refere 4 osciladores controlados por um rolo de papel perfurado.

3. Em 1929 o *orgue des ondes* [órgão das ondas], Era um instrumento polifónico, com 70 teclas e 10 osciladores LC por tecla (num total de 700 válvulas),<sup>60</sup> permitindo realizar síntese aditiva e subtractiva.
4. Também em 1929 o *piano radio-électrique*, um pequeno órgão electrónico com mecanismo de piano automático.
5. Em 1930, o *órgão Coupleux-Givelet*, um instrumento polifónico que era controlado por um rolo de papel do tipo usado nos pianos automáticos, mas que controlava não só a altura como o volume, ataque, envolvente, efeitos de *tremolo* e timbre.

O trabalho de Givelet orienta-se no sentido da polifonização, da automação dos instrumentos e da síntese, aditiva e subtractiva, mas partindo do modelo do órgão tradicional. Givelet concebera instrumentos semelhantes ao *theremin* e ao *dynaphone* entre fins da década de 1910 e meados da década de 1920, mas não chegara a construir tais instrumentos (Davies 1984d), e a sua orientação mudou entretanto de rumo.

Um outro instrumento que surge por esta altura é o *trautonium*, apresentado publicamente em 1930 em Berlim – a cidade onde Varèse vivera duas décadas atrás – e desenvolvido ao longo dos anos que se seguiram pelo engenheiro Friedrich Adolf Trautwein, em colaboração estreita com Paul Hindemith e alguns dos alunos deste, em particular Oskar Sala. No *trautonium*:



**Fig. 3.9 – Trautonium, c.1930.** Note-se o altifalante de armação e o pedal para controlo da intensidade (Obsoleto 1998p).

1. O controlo era feito a partir de um arame resistivo, esticado na horizontal, que era prensado contra uma escala metálica (o *trautonium* tomara como modelo os instrumentos de corda).
2. Os osciladores dispunham de *divisores de frequências*, que permitiam obter *subharmónicos* (a mais inovadora das suas características), de cuja selecção dependia o timbre.

3.A forma de onda básica não era sinusoidal, e o timbre podia ser modificado por filtragem (síntese substractiva).

O *trautonium* tinha a princípio um único oscilador, mas em 1934 Trautwein acrescentou um segundo (com o respectivo arame de controlo), bem como um conjunto de linguetas flexíveis de couro que serviam para calcar o arame nos lugares aproximados das notas (Holmes 2002: 70).

### 3.8.O Voder, o Vocoder e a Análise Espectral

We represent and imitate all articulate sounds and letters [Representamos e imitamos todos os sons articulados e letras] (Bacon 1626: 12)

Os instrumentos referidos neste capítulo eram concebidos especificamente para gerar música. No fim da década de 1930 Homer W. Dudley, um investigador dos *Bell Labs*, criou dois dispositivos que não eram pensados para este fim mas que, uma década mais tarde, vieram a ter influência considerável no percurso da música electrónica: o *voder* e o *vocoder*.

O *voder* foi o primeiro sintetizador de voz, apresentado em 1939 na Exposição Internacional de New York (Sluyter 1983/84: 203). Tinha o aspecto de uma máquina de escrever com 15 teclas (fig.3.10), das quais cinco em cada mão controlavam dois bancos de ressoadores que produziam as duas regiões formânticas da vogal.

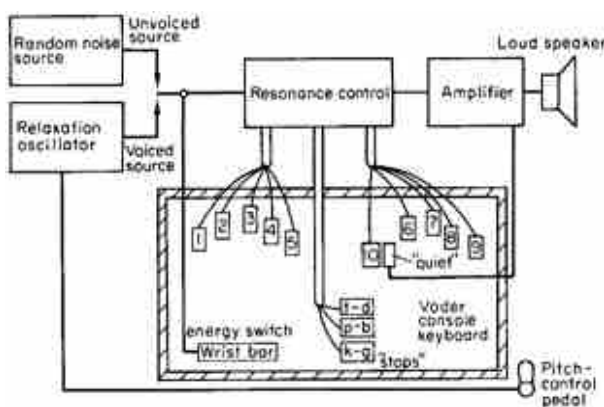


Fig. 3.10 – Esquema funcional do *voder* (Obsolete 1998b).

O *vocoder* (Voice Operated reCORDER) era um dispositivo duplo: continha uma componente que analisava o espectro do som, através de bancos de filtros, em amostras sucessivas ao longo do tempo (criando portanto sonogramas). Essa informação era então fornecida à segunda componente, que resintetizava o som. O objectivo era investigar possíveis



esquemas de compressão de informação, eventualmente utilizáveis na transmissão de voz por linhas telefônicas (Obsoleto 1998b). A fig.3.11 mostra o equipamento usado por Dudley em 1936.

A importância destes aparelhos está sobretudo no estímulo que trouxeram à exploração da análise do som no domínio frequencial. Ao lidar com a voz, e em particular com as regiões formânticas, Dudley estava a realçar um aspecto do espectro sonoro «alternativo» à visão baseada nos harmónicos, de raiz

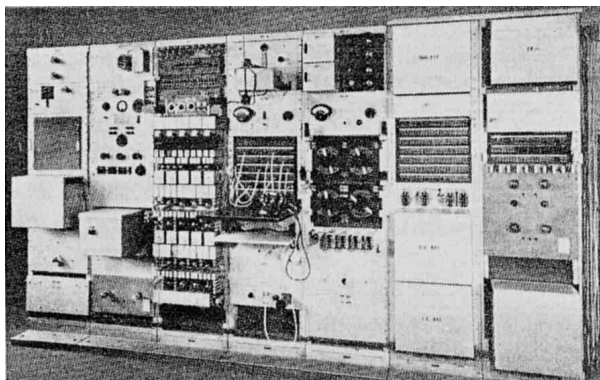


Fig. 3.11 – Equipamento usado por Dudley em 1936 para analisar e resintetizar voz (Sluyter 1983/84: 203)

helmholtziana, aplicável apenas a sons

periódicos. Ao fazê-lo, estava a contribuir para uma maior consciencialização da diversidade de factores que constituem o timbre.

A análise espectral matemática, apesar de conceptualizada por Fourier no início do séc.XIX, só foi realmente viabilizada por volta de 1965, com o aparecimento da Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* ou FFT, uma forma de simplificar a análise de Fourier evitando redundâncias de cálculo) (Beranek 1996: 13), e a criação em 1967 do algoritmo Cooley-Turkey, que a permitia realizar nos computadores digitais que começavam a aparecer (White 1994: 141). Anteriormente, a análise espectral era realizada através de filtros mecânicos (os ressoadores de Helmholtz foram desenvolvidos para este fim em meados do séc.XIX) ou eléctricos. No caso dos filtros eléctricos, havia duas maneiras de proceder:

1. Dispôr de um banco de filtros, em paralelo, um para cada banda de frequências cuja presença ou amplitude se pretenda analisar. Este método, utilizado no sonógrafo, permitia analisar em tempo real o espectro de um som e a forma como este evoluía no tempo; porém, mesmo para obter uma resolução limitada no domínio frequencial, era necessário um número muito elevado de filtros.
2. Registrar um som contínuo num *loop* de fita magnética e, variando a sua velocidade de reprodução, passá-lo sucessivamente por um único filtro, de banda tão estreita quando se desejasse. Este método permitia obter uma maior precisão

com um sistema mais simples, mas estava limitado a sons estáveis e era moroso, pois exigia que o *loop* fosse repetido, a velocidades sucessivamente diferentes, tantas vezes quantas as bandas de frequências que se pretendesse analisar.

Assim, na década de 1950, embora a estrutura espectral do som fosse analisável e houvesse já investigação considerável a este nível, as facilidades para realizar análise espectral de um som específico eram um luxo de difícil acesso, de precisão limitada e por vezes morosas. Leo Beranek – que esteve associado à Universidade de Harvard e ao MIT – descreve, referindo-se a esta época:

The early signal analysis equipment was a series of parallel filter bands [...] These equipments could, for a steady signal only, determine the power (or intensity) in a signal as a function of frequency. Each of the parallel filter bands was generally 1/3 or 1 octave wide and could cover the range from about 20 Hz to 20000 Hz. The difficulty with this was that it could not deal with transient sounds, nor with sounds that varied from one part of a minute to the next. [O equipamento primitivo para análise de sinais era uma série de filtros passa-banda em paralelo. Estes equipamentos podiam, apenas para um sinal estável, determinar a potência (ou intensidade) num sinal como função da frequência. Cada uma das bandas dos filtros em paralelo tinha geralmente uma largura de 1/3 ou 1 oitava e podiam cobrir uma gama de 20 Hz a 20.000 Hz. A dificuldade era que não poder lidar com sons transitórios, nem com sons que variavam de uma parte de um minuto para o próximo.] (Beranek 1996: 13)

Em finais da década de 1930 havia uma larga escolha ao nível de instrumentos capazes de produzir síntese aditiva ou subtractiva, com interfaces inspiradas em instrumentos tradicionais ou inovadoras. A paleta de efeitos sonoros e musicais que, graças a esses instrumentos, era possível obter estava limitada sobretudo pela capacidade de o músico antever o efeito que pretendia e escolher os meios para o obter.

Porém, em finais da década de 1950 a disponibilidade de meios de análise do som é ainda restrita (os analisadores de espectro são raros, caros e limitados), e a experimentação pelo processo de corte e colagem é morosa, passando um tempo razoável desde que o compositor concebe um som até que o pode ouvir. Tudo isto torna moroso o processo de formulação de uma metodologia de trabalho em que a racionalização e a avaliação subjectiva do resultado sonoro estejam interactivamente relacionadas.

Cahill, Varèse e muitos outros foram influenciados pela teoria de Helmholtz, que praticamente equaciona timbre e espectro. Mas a articulação teoria – prática estava limitada pelas limitações existentes ao nível das ferramentas de análise sonora no domínio frequencial, *i. e.*, de *análise espectral* – e talvez por algum debate que, estimulando posições extremistas, levasse a longo termo a uma reflexão.

## 4.EXPLORAÇÃO DE NOVOS RECURSOS

Muitos dos recursos abordados nos dois capítulos anteriores tornaram viáveis para os compositores realizações que antes se circunscreviam ao domínio da utopia. A exploração desses recursos foi dando origem a novas ferramentas conceptuais – como p. ex. o hábito de associar tempo a espaço, resultante sobretudo dos meios de registo mecânicos e óptico – que alteraram a forma como o ser humano se consciencializa do fenómeno sonoro.

Antes da era da fita magnética, da alta fidelidade e dos estúdios de música concreta e electrónica, alguns sistemas concebidos originalmente para registar sons foram aproveitados de forma engenhosa para criar música ou sons experimentais. No presente capítulo abordarei alguns exemplos de exploração criativa do disco de gramofone e da pista óptica do cinema.

### 4.1.Experiências com Discos

[...] and some that give back the voice [...] shriller and some deeper [e alguns que devolvem a voz mais estridente, e alguns mais profunda] (Bacon 1626: 12)

Vimos em 2.5.1 que até c.1925 as velocidades com que os discos eram gravados não se achavam padronizadas, pelo que os gramofones permitiam variar a velocidade. Este estado de coisas levava a que qualquer utilizador de discos se familiarizasse com as transformações que resultam da simples alteração da escala de tempo do som.

Entre 1922 e 1927 Darius Milhaud realizou várias experiências que envolviam a alteração de velocidade de discos com gravações de voz, observando as alterações produzidas na qualidade acústica do material sonoro (Manning 1993: 10). A alteração de velocidade de gravações de voz desvia não só a frequência de vibração das cordas vocais como também as regiões formânticas, modificando as vogais e tornando-as eventualmente irreconhecíveis.

Paul Hindemith e Ernest Toch, na Rundfunkversuchsstelle – uma estação experimental de radiodifusão fundada em 1928 na Staatliche Akademische Hochschule für Musik, em Berlim, realizaram duas peças de *Gramophonmusik* cada um<sup>61</sup> (Davies 2001: 82). Recorde-se que foi aqui, pela mesma ocasião e também sob a influência de Hindemith, que Friedrich Trautwein criou o *Trautonium* (cf. 3.7). Na década de 1930 Percy Grainger realizou experiências de alteração de velocidade em discos, sobretudo com sons de piano (Manning 1993: 10). John Cage, em *Imaginary Landscape No.1* (1939), utilizou (juntamente com recursos instrumentais) giradiscos de velocidade variável, em que eram tocados discos de teste. Nesses discos estavam registados sinais sinusoidais contínuos e em varrimento. Em *Imaginary Landscape No.3* (1942) voltou a usar giradiscos, mas desta vez acrescidos de geradores de sinais (Manning 1993: 16; Schwartz e Godfrey 1993: 23-25).

Segundo Vivier (1973: 63), desde a sua chegada aos EUA Varèse fez experiências com discos, não apenas variando a sua velocidade mas também tocando-os do fim para o princípio e sobrepondo sequências sonoras independentes. MacDonald (2003: 288) refere que em 1939 Varèse, «with the aid of an electrical engineer attempts the recording of sounds at different pitches, achieved by varying the speed of a turntable» [com a ajuda de um engenheiro eléctrico, tenta gravar sons a diferentes alturas, obtidas variando a velocidade de um giradiscos].<sup>62</sup> Tendo em conta que nesta altura os giradiscos seriam electrificados, geralmente com motores síncronos, parece-me provável que o auxílio do «engenheiro eléctrico» se destinasse a produzir um oscilador variável que alimentasse o motor.

A normalização das velocidades dos discos e a electrificação dos giradiscos, que frequentemente usavam motores síncronos (cuja velocidade é determinada pela frequência da rede eléctrica), veio limitar as possibilidades de manipulação de velocidade. Este problema ter-se-ia em princípio mantido com o aparecimento da fita magnética, já que os gravadores de bobinas da década de 1950 usavam também motores síncronos. Note-se porém que o *magnetophon* original usava um motor de corrente contínua, portanto não sujeito a uma velocidade constante (cf.2.5.3). Além disso, no início da década de 1950 começaram a estar disponíveis sistemas de alimentar o motor com uma tensão alternada, quer comercialmente, como o *vari-speed* da Ampex (cf.2.8), quer improvisados: um gerador de sinais (dispositivo geralmente usado para testes em laboratórios de electrónica), um amplificador e um transformador são o suficiente para permitir o controlo da velocidade dos motores síncronos.

Note-se que, muito antes de dispôr de fitas magnéticas, Varèse explorara já o crescendo dos instrumentos de sopro terminando bruscamente (como o som de uma oscilação amortecida ouvido do fim para o princípio), e que este tipo de «envolvente invertida» é comum no *Poème Electronique*. Três dias depois da morte de Varèse, numa homenagem radiofónica, Messiaen observava:

C'est au fond lui qui, il y a un très grand nombre d'années, a prévu les musiques concrètes et les musiques électroniques [...] par des choses qui étaient absolument impensables à l'époque où il les a pensées, c'est-à-dire, par exemple, les sons passés à l'envers, comme on en trouve dans *Intégrales*, où les trombones font des attaques *piano* suivies s'un *sforzando*, qui sont évidemment des sons rétrogradés. [Foi no fundo ele que, há muitos anos, previu as músicas concretas e as músicas electrónicas (...) através de coisas que eram absolutamente impensáveis na época em que ele as pensou, como por exemplo os sons invertidos, da forma que se encontra em *Intégrales*, onde os trombones fazem ataques *piano* seguidos de um *sforzando*, que são evidentemente sons retrogradados.] (Vivier 1973: 63)

#### 4.2.Sistemas de Reprodução Óptica

We represent small sounds as great and deep [Representamos sons pequenos como grandes e profundos] (Bacon 1616: 12)

O desenvolvimento do registo óptico no cinema, em particular dos sistemas de área variável, durante a década de 1930, disponibilizou um recurso precioso. Não só se tornava possível visualizar o som<sup>63</sup> e de algum modo analisá-lo – *manuseando-o* no sentido literal do termo – como se conseguia sintetizá-lo graficamente, desenhando directamente na película. Ao representar visualmente o som ao longo do espaço estes sistemas contribuíam, do ponto de vista cultural, para o estabelecimento de um paradigma de correspondência tempo-espço que vai ser um dos fundamentos da música electrónica: «Tempo Medido em Centímetros», parafraseando o título do livro de Treib (1996).

As possibilidades da pista óptica ao nível da síntese e mesmo da análise foram exploradas quase de imediato após o seu aparecimento. Em 1932 o alemão Rudolph Pfenninger descobriu que a análise de formas de uma pista óptica fornecia informação

suficiente para sintetizar uma gama variada de timbres, desenhando os padrões correspondentes directamente na película (Manning 1993: 12). Em meados da década de 1930 o engenheiro alemão Oskar Fischinger experimentou também o desenho directo na película para produzir «unique timbres» [«timbre únicos»] (Schwatz e Godfrey 1993: 108). Em Leninegrado, Yevgeny Sholpo desenvolveu o Variophone, uma máquina que serviu de modelo ao desenvolvimento de um sintetizador fotoeléctrico (Manning 1993: 12). Também a sirene óptica de que o estúdio de Eindhoven, onde Varèse realizou o *Poème Electronique*, dispunha na década de 1960 (cf.6.3) se baseava em padrões gráficos desenhados num disco transparente, rodando a uma velocidade controlada.

Norman McLaren, um escocês que em 1941 passou a integrar o National Film Board of Canada, foi talvez um dos artistas que exploraram de forma mais criativa as potencialidades da pista óptica. McLaren recorreu à criação da pista sonora por meios puramente gráficos, pintando ou raspando directamente na película<sup>64</sup> (Nfc 2001; fig.4.1), em filmes de animação como *Scherzo* (1939), *Dots* (1948), *Boucles*



**Fig. 4.1** – Norman McLaren pintando directamente na película (Nfc 2001).

(1948), *Now Is the Time* (1951) ou *Twirligig* (1952). Em *Fiddle-de-dee* (1947) usou um processo contrário: desenhóu nos fotogramas padrões abstractos que eram a prolongação da pista de som.

Com o desenvolvimento da fita magnética, sobretudo a partir da década de 1950, os sistemas ópticos de registo foram desaparecendo. A fita permitia uma maior flexibilidade de montagem e apresentava melhor qualidade sonora, mas não fornecia a visualização do som.

## 5.VARÈSE II: NA DEMANDA DE NOVOS RECURSOS

We have also sound-houses, where we practise and demonstrate all sounds and their generation [Temos também casas de som, em que praticamos e demonstramos todos os sons e a sua produção] (Bacon 1626: 12)

Vimos em 1.2 como Varèse já em 1916 apregoava a necessidade que sentia de novos instrumentos, e como a partir de 1922 começou a referir-se especificamente à electrónica como chave para a sua criação. Esta nova postura data da época em que começavam a surgir as primeiras emissões regulares de radiodifusão. A fé de Varèse nos novos recursos parece ter aumentado nos cinco anos seguintes, de tal forma que a partir de 1927 as suas tentativas de obter acesso a um laboratório ou estúdio tomam um aspecto obcessivo, de quase desespero.

Quando em 1928 veio para Paris com o intuito de se informar, com Bertrand, dos avanços tecnológicos e do seu potencial musical, Varèse elaborou um projecto de estúdio-escola. O termo usado é *laboratório*, mas a descrição poderá recordar-nos a organização da Bauhaus, com os seus ateliers sobre a teoria científica da cor – uma espécie de «casas do som»:

Only students already in possession of a technical training will be accepted in the composition class. In this department, studies will concentrate upon all forms required by the new concepts existing today, as well as the new techniques and new acoustical factors which impose themselves as the logical means of realizing those concepts.

Also under Varèse's direction, with the assistance of a physicist, there will be a working laboratory in which sound will be studied scientifically, and in which the laws permitting the development of innumerable new means of expression will be established without any reference to empirical rules. All new discoveries and all inventions of instruments and their uses will be demonstrated and studied. The laboratory will possess as complete a collection of phonographic records as possible, including examples of the music of all races, all cultures, all periods, and all tendencies.



[Apenas estudantes que já possuem adestramento técnico serão aceites na classe de composição. Neste departamento os estudos concentrar-se-ão em todas as formas exigidas pelos novos conceitos que hoje existem, tal como nas novas técnicas e novos factores acústicos que se impõem como os meios lógicos para realizar aqueles conceitos.

[Também sob a direcção de Varèse, assistido por um físico, haverá um laboratório de trabalho em que o som será estudado cientificamente, e em que as leis que permitem o desenvolvimento de inúmeros novos meios de expressão serão estabelecidas sem qualquer referência a regras empíricas. Todas as novas descobertas e todas as invenções de instrumentos e seus usos serão demonstrados e estudados. O laboratório possuirá uma colecção de registos fonográficos tão completa quanto possível, incluindo exemplos da música de todas as raças, todas as culturas, todos os períodos, e todas as tendências.] (Manning 1993: 8-9)

Segundo MacDonald (2003: 186), em 1927 Varèse terá realizado experiências com instrumentos electrónicos em colaboração com René Bertrand (que por esta altura estaria a terminar o seu *dynaphone*; cf. 3.5) e Harvey Fletcher, o director de investigação acústica dos *Bell Labs*. Em finais do ano, Varèse tentou obter, através do apoio deste último, um estúdio onde pudesse desenvolver investigação experimental no domínio da música electrónica. Fletcher, porém, não conseguiu obter as verbas necessárias (Snyder 2000: 3; Manning 1993: 8). Em consequência deste insucesso, Varèse partiu para Paris a 10/10/1928 (Manning 1993: 8; MacDonald 2003: 213).

Em 01/12/1932 escreveu de novo a Fletcher, a partir de Paris, propondo-se trabalhar para os *Bell Labs* em troca do acesso aos laboratórios, mas voltou a não ter sucesso (Manning 1993: 9; Snyder 2000: 3). Na mesma época tentou obter uma bolsa da John Simon Guggenheim Memorial Foundation para prosseguir a sua colaboração com René Bertrand. Numa carta à fundação, em 06/02/1933, Varèse explicava detalhadamente os resultados técnicos que pretendia obter:

1. To obtain absolutely pure fundamentals.
2. By means of loading the fundamentals with certain series of harmonics to obtain timbres which will produce new sounds.
3. To speculate on the new sounds that the combination of two or more interfering Dynaphones would give if combined in a single instrument.
4. To increase the range of the instrument so as to obtain high frequencies which no other instrument can give, together with adequate intensity.

The practical result of our work will be a new instrument which will be adequate to the needs of the creative musician and musicologist. I have conceived a system by

which the instrument may be used not only for the tempered and natural scales, but one which also allows for the accurate production of any number of frequencies and consequently is able to produce any interval or any subdivision required by the ancient or exotic modes.

[1.Obter fundamentais absolutamente puras.

[2.Acrescentando às fundamentais certas séries de harmónicos, obter timbres que produzam novos sons.

[3.Especular sobre os novos sons que a combinação de dois ou mais Dynaphones, interferindo uns com os outros, dariam se combinados num só instrumento.

[4.Ampliar o âmbito do instrumento de forma a obter frequências elevadas que nenhum outro instrumento pode dar, juntamente com uma intensidade adequada.

[O resultado prático do nosso trabalho será um novo instrumento que será adequado às necessidades do músico criativo e do musicólogo. Eu concebi um sistema através do qual o instrumento pode ser usado não apenas para as escalas temperada e natural, mas que também permite a produção precisa de qualquer número de frequências e conseqüentemente é capaz de produzir qualquer intervalo ou qualquer subdivisão exigidos pelos modos arcaicos e exóticos.] (Manning 1993: 9; Chadabe 1997: 59)

A análise deste texto revela-nos muito sobre o que Varèse idealizava por volta de 1930. Em primeiro lugar note-se que o resultado «material» que ele pretendia atingir era a criação de um novo instrumento. Esse instrumento devia ser adaptado a dois tipos de utilizadores: o *músico criativo* (o compositor) e o *musicólogo*. Recordemos que um dos interesses de Varèse é a música antiga (especialmente até ao séc.XVII), que estudara com Bordes e que frequentemente apresentou enquanto maestro. A relevância histórica da produção de Varèse como compositor leva-nos por vezes a esquecer quão vastos eram os seus interesses (cf. cap.1).

Outro aspecto tem a ver com a possibilidade de usar este instrumento «não apenas para as escalas temperada e natural» (como seria possível com a versão mais completa do *telharmonium*, de que ele ouvira falar por Busoni mas que não chegara a conhecer; cf. 3.1.1), mas também para produzir «qualquer intervalo ou qualquer subdivisão» (Busoni referira o interesse do *telharmonium* no contexto da sua discussão das subdivisões microtonais). Tendo em conta a experiência anterior de Varèse no que toca ao uso de sirenes, é curioso não haver uma menção explícita do glissando ou do *continuum* musical: o mais próximo que podemos encontrar é a referência à «produção precisa de qualquer número de frequências».

Os quatro objectivos numerados que apresenta merecem alguma atenção. O objectivo nº 2 aponta claramente para um modelo de síntese aditiva, não para imitar sons conhecidos, mas para criar novos sons. Quanto ao objectivo nº 1, o ênfase nas fundamentais «absolutamente puras» pode ser um reflexo da tendência que os instrumentos electrónicos começavam a apresentar de produzirem formas de onda não sinusoidais, como acontece no *trautonium*,<sup>65</sup> ou de simplesmente do facto de os transdutores e os circuitos amplificadores introduzirem demasiadas não linearidades; pode também ser o reflexo de uma admiração pelos sons sinusoidais enquanto sons que não se costumam encontrar na natureza nem nos instrumentos convencionais. Em 1926, após a estreia de *Amériques*, Varèse declarava aos jornalistas, a propósito do uso das duas sirenes:

J'emploie ces instruments à une hauteur définie et fixe pour faire un contraste de sonorités pures. Il est étonnant de voir à quel point le son pur, sans harmoniques, donne une autre dimension à la qualité des notes musicales qui l'entourent. [Eu uso estes instrumentos de altura definida e fixa para fazer um contraste de sonoridades puras. É espantoso ver a que ponto o som puro, sem harmónicos, dá uma outra dimensão à qualidade das notas musicais que o rodeiam.] (Vivier 1973: 36)

O som das sirenes não é «puro» no sentido de sinusoidal, mas tem uma característica em comum com os sons sinusoidais: o seu espectro não é moldado por quaisquer regiões formânticas quando se altera a fundamental, como acontece na voz humana e na maioria dos instrumentos. Note-se ainda que o som sinusoidal (como os sons muito pobres em harmónicos), ao fornecer pouca informação que o nosso cérebro, tendo em conta as HRTF (cf.2.5.4), possa utilizar para identificar a localização da origem espacial do som, propicia o aparecimento de ilusões de espaço.

Regressemos aos objectivos que Varèse se propõe obter da sua colaboração com Bertrand. O objectivo nº 3, ao referir a exploração de «fenómenos de interferência», é suficientemente genérico para englobar potencialmente fenómenos como batimentos, sons diferenciais ou outros tipos de intermodulação. Os osciladores electrónicos, ao produzirem sons periódicos muito estáveis, são especialmente propensos ao aparecimento destes fenómenos, que se chegam a tornar um problema, como aconteceu com o *telharmonium*, no registo grave, e com o *cello theremin* contrabaixo, quando Stokowski o aplicou na *Philadelphia Orchestra* (cf.3.4.3).

Assim, o que Varèse pretende com a combinação de dois ou mais *dynaphones* é explorar as possibilidades criativas de um fenómeno tradicionalmente indesejável. O que ele descreve, essa combinação de circuitos oscilantes, é no fundo um embrião de sintetizador modular.

A referência (objectivo nº 4) às frequências elevadas levanta duas questões:

1. Em fins da década de 1920 os altifalantes tipo Rice-Kellog tinham resolvido o problema da curva de resposta dos equipamentos electroacústicos na região grave, mas havia ainda muita dificuldade em obter agudos acima dos 5.000 Hz (cf. Schoenherr 2002a). Note-se que um dos progressos da década de 1930 foi a expansão da curva de resposta para 10.000-15.000 Hz nos agudos, ainda que a nível laboratorial; mais importante, esse desenvolvimento deu-se especificamente nos *Bell Labs* de Harvey Fletcher.

2. Varèse explorou com mais frequência o registo extremo agudo que o grave. No

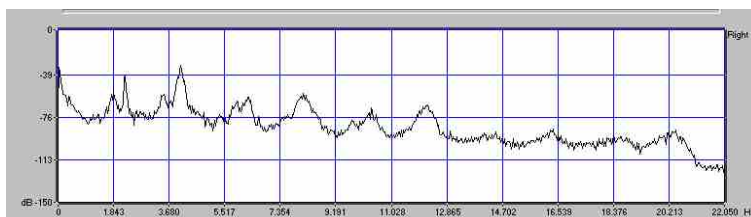


Fig. 5.1 – Espectro do final do *Poème Electronique* (t=446,000s).

*Poème Electronique*, aos 417,6", transpõe uma voz acima do registo normal, para 1427 Hz (Fá5),<sup>66</sup> e conclui a obra um som fortíssimo que inclui vários glissandi simultâneos, terminando num som em cujo espectro se destacam vários picos entre 2.200 e 12.000 Hz, aproximadamente. Pouco depois de redigir a sua proposta, para usar em *Equatorial*, Varèse encomendou a Lev Termen instrumentos capazes de produzir sons até 12000 Hz (cf.3.4.3).

Dois anos depois de *Equatorial*, numa conferência em Santa Fe, Varèse voltou a explicar o que procurava:

[...] The new musical apparatus I envisage, able to emit sounds of any number of frequencies, will extend the limits of the lowest and highest registers, hence new organizations of the vertical resultants: chords, their arrangements, their spacings – that is, their oxygenation. Not only will the harmonic possibilities of the overtones be

revealed in all their splendor, but the use of certain interferences created by the partials will represent an appreciable contribution. The never-before-thought-of use of the inferior resultants and of the differetial and additional sounds may also be expected. [O novo instrumento musical que eu concebo, capaz de emitir qualquer número de frequências, expandirá os limites dos registos grave e agudo, de onde novas organizações dos resultados verticais: acordes, suas disposições, seus espaçamentos – ou seja, a sua oxigenação. Não só serão reveladas em todo o seu esplendor as possibilidades harmônicas dos harmônicos, como o uso de certas interferências criadas pelos parciais representarão um contributo apreciável. O nunca-antes-imaginado uso dos resultantes inferiores<sup>67</sup> e dos sons diferenciais e adicionais pode ser também esperado.] (Schwartz e Childs 1998: 197-8)

Comparando com a proposta anterior, verificamos que Varèse se refere agora não só à expansão para o agudo como também para o grave. Além disso, é mais específico em relação aos efeitos que pretende obter. Tendo em conta esta especificidade, bem como a consistência entre a primeira proposta e a conferência em Santa Fe, creio ser altamente provável que Varèse conseguisse já nesta altura formular uma razoável imagem auditiva interior do tipo de efeitos que os fenómenos que se propunha experimentar poderiam produzir. O testemunho de Odile Vivier (1973: 53) aponta para uma confirmação desta hipótese:

Varèse m'exposa, en 1954, comment il utilisait le renforcement de certains harmoniques pour changer un timbre, connaissant fort bien ses précurseurs en ce domaine. Il fit des recherches en laboratoire pour obtenir la magnification de la sensation par l'accentuation très forte de l'attaque, elle-même produite par le renforcement de la résonance, mais ce renforcement doit mourir vite, à la différence des sons tenus. [Varèse expôs-me, em 1954, como utilizava o reforço de certos harmônicos para alterar um timbre, conhecendo muito bem os seus precursores neste domínio. Ele fizera investigações em laboratório para obter a ampliação da sensação através da acentuação muito forte do ataque, ela própria produzida pelo reforço da ressonância, mas esse reforço deve-se extinguir rapidamente, ao contrário do que acontece com os sons sustentados.]

Vivier não especifica quando e onde haviam sido realizadas essas experiências laboratoriais: com Bertrand, em 1927 ou 28? Com Fletcher, informalmente? No seu próprio estúdio? Não sabemos que equipamento teria, além do seu Ampex 401A. No Club d'Éssai, enquanto preparava as interpolações de *Déserts*? O tempo deve ter sido demasiado apertado. A sua visita a Darmstadt, como professor, dos cursos de Verão de 1950 (cf. 2.5.4) foi anterior à criação do estúdio de Köln, embora nesse ano fosse realizada por Robert Beyer uma

conferência sobre música electrónica à qual Varèse assistiu (Luening 1964: 259; cf. 6.2). Seria necessária uma investigação detalhada sobre os movimentos do compositor durante o seu período de «esquecimento», entre 1936 e 1950, para avaliar se ele terá efectivamente obtido acesso, ainda que precário, a algum laboratório durante este período.

Segundo MacDonald (2003: 213), em 1929 Varèse «associates closely with progressive film composer Arthur Hoérée, who is working with sound inscribed or pre-recorded on film, and discusses with him the necessity for and use of electronic equipment» [associa-se de perto com o inovador compositor de (música para) filmes Arthur Hoérée, que está a trabalhar com som inscrito ou pré-registado em película, e discute com ele a necessidade e o uso de equipamento electrónico]. Hoérée foi durante a década de 1930 colaborador de Arthur Honneger em música para vários filmes, mas não me foi possível obter qualquer dado sobre a natureza específica da sua experimentação. De qualquer forma, o contacto com Hoérée numa altura em que o cinema sonoro apenas começava a surgir sugere-nos uma consciência precoce das possibilidades que as faixas ópticas permitiam.

Em 22/04/1940 Varèse escreveu uma carta ao produtor de Hollywood André Dumont (MacDonald 2003: 1989), propondo a criação de um estúdio experimental. Segundo Vivier (1973: 125), foi com intenções muito precisas a este respeito que Varèse se instalou em Los Angeles entre 05/1938 e 10/1940. A carta, que foi posteriormente publicada como artigo na revista *The Commonweal*, incluía a seguinte passagem:

La plupart des grandes industries trouvent pratique d'avoir des laboratoires de recherche. Il me semble que l'industrie du cinéma tirerait profit (même au sens financier) d'un laboratoire ou d'une section pour l'étude du problème d'une utilisation plus complète et plus intelligente des appareils sonores. Il devrait exister un département coordinateur où le compositeur, l'organisateur du son et l'ingénieur pourraient travailler ensemble. [A maior parte das grandes indústrias acham prático ter laboratórios de investigação. Parece-me que a indústria do cinema tiraria lucro (mesmo no sentido financeiro) de um laboratório ou de uma secção para o estudo do problema de uma utilização mais completa e mais inteligente dos aparelhos sonoros. Deveria existir um departamento coordenador onde o compositor, o organizador de som e o engenheiro pudessem trabalhar juntos.] (Vivier 1973: 127)

Recorde-se as experiências inovadoras ao nível da especialização que começavam a ser realizadas a partir da década de 1930 (cf. 2.6.2; 2.6.3). Uma dessas experiências era o filme *Fantasia*, em que participara Leopold Stokowski – um filme cuja concepção Varèse não

apreciava (MacDonald 2003: 339). Mesmo assim, em 07/1952 o compositor enviou ao empresário Merle Armitage, da Disney, uma proposta para um filme a realizar a partir do que viria a ser a partitura de *Déserts* (*ibid.*). Em várias outras ocasiões Varèse referiu o seu interesse de que um dia este filme viesse a ser realizado.

Segundo MacDonald (2003: 288), a partir de c.1940 Varèse procurou localizar Lev Termen, que em 1938 havia desaparecido dos EUA para lugar incerto da URSS. É possível que a substituição dos *theremin cellos* por *ondes martenot* na revisão que o compositor fez em 1961 de *Equatorial* tenha sido mais uma questão de necessidade, dado o insucesso das suas diligências (os instrumentos que Termen lhe havia preparado em 1934 necessitariam provavelmente de manutenção), do que de preferência. Parece-me mesmo provável que Varèse tenha encontrado nos *theremin cellos* algo muito próximo do que pretendia dos *dynaphones* de Bertrand: antes de vir para Paris em 1928 o contacto que o compositor terá tido com o *theremin* poderá quando muito ter sido breve, e não é impossível que só no seu regresso aos EUA, em 1933, tenha visto as reais possibilidades do instrumento, talvez exploradas por Lucie Rosen, cujos ideais estéticos se aproximariam certamente mais dos seus do que os da maioria dos thereministas de então. Uma linha de investigação que julgo pertinente realizar no futuro é se terá havido algum tipo de contacto entre Varèse e Lucie Rosen, e em caso afirmativo qual a sua natureza.

Referi já (cf. 2.5.3) que a 22/03/1952 Varèse passou a dispor em casa de um gravador Ampex 401A. Foi precisamente para completar e aperfeiçoar as interpolações para *Déserts*, que ele iniciara recorrendo a este gravador, que Varèse foi convidado para trabalhar algumas semanas no estúdio do *Club D'Éssai*, em Paris. Entre 02/09/1957 e 06/1958 trabalhou em Eindhoven no *Poème Electronique*. Várias tentativas e promessas de acesso a estúdios, nos anos que se seguiram, não tiveram qualquer resultado: por exemplo, no final da conferência que antecedeu a apresentação do *Poème Electronique* em New York (09/11/1958), Varèse anunciou que uma subsidiária da Seigler Corporation, a Bogen-Presto, se tinha oferecido para lhe disponibilizar um estúdio, o que não se chegou a concretizar (Manning 1993: 96).

## 6.OS ESTÚDIOS

No início da década de 1950 surgiram em Paris e Köln dois estúdios em que a fita magnética tomou o papel central, quer como um meio de manipular os sons quanto à sua frequência, sentido temporal e ordenação no tempo, quer simplesmente como suporte final das obras produzidas. Enquanto no estúdio do Club d'Éssai, em Paris, orientado por Pierre Schaeffer e Pierre Henri, se desenvolveu a chamada *musique concrète*, que vivia da manipulação de sons preexistentes, no estúdio da então chamada *Nordwestdeutsche Rundfunk* (NWDR) surgiu a *elektronische Musik*, cujo princípio fundamental era o compositor dever criar da raiz, *i.e.*, da estrutura (espectral) do próprio som, toda a estrutura musical. Na prática, os procedimentos favorecidos em Köln conduziram à valorização de modelos de síntese aditiva e, como consequência indirecta do *modus operandi* a que os recursos existentes obrigavam, da prática da composição por sobreposição sucessiva de camadas.

Independentemente do aparecimento, já ao longo da década de 1950, de inúmeros outros estúdios, os de Paris e Köln – baluartes de tendências antitéticas – tornaram-se modelos e referências incontornáveis na história da música electroacústica. Ao longo deste capítulo serão abordados os recursos disponíveis em cada um deles, bem como no NatLab, o laboratório adaptado a estúdio pela Philips onde Varèse realizou o *Poème Electronique*.



## 6.1.Paris

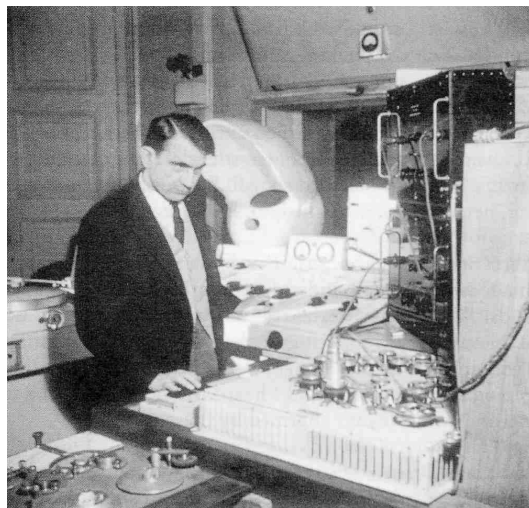
[...] and the voices and notes of beasts and birds [e as vozes e notas dos animais e pássaros] (Bacon 1626: 12)

Quando, em 1948, Schaeffer criou os cinco *Études de Bruits*, o equipamento que usou, para além de microfones e filtros de áudio, consistia em:

- 4 giradiscos
- 1 misturador de 4 canais
- uma unidade de gravação de discos portátil
- uma unidade de gravação de discos de estúdio, para a mistura final
- 1 câmara de reverberação (Holmes 2002: 91-92)

Em 1951 a Radio France obteve os seus primeiros gravadores (Chadabe 2000). Nessa altura, o estúdio possuía, para além de geradores de sinais e filtros de áudio:

- 1 gravador de fita de 3 pistas<sup>68</sup>
- 1 *morphophone*: gravador com dez cabeças para produzir ecos e reproduzir *loops*
- 2 *phonogènes*, reprodutores de *loops* com velocidade variável:
  - *tolana*: com teclado, 24 velocidades pré-definidas
  - *sareg*: velocidade continuamente variável
- 1 *potentiomètre d'espace*, para distribuir o som por quatro altifalantes (Holmes 2002: 94)



**Fig. 6.1** – Schaeffer no Club d'Essai, em 1952, junto aos *phonogènes à coulisse* (esquerda) e à *clavier* (direita) (Chadabe 1997: 33).

Os três últimos tipos de equipamento eram aparelhos concebidos especialmente por um engenheiro associado ao estúdio, Jacques Poulin. No *phonogène sareg*, ou *à coulisse* (fig. 6.1), a velocidade era continuamente variável de 0 a 76 cm/s (Chadabe 1997: 33), enquanto que no *phonogène tolana*, ou *à clavier*, havia alturas pré-definidas, o que presume a subsistência de um modelo conceptual baseado no sistema cromático temperado (ou noutra igualmente limitado) e não no *continuum* musical. É certo que o compositor pode simplesmente ignorar este aparelho e usar apenas o *sareg*, mas o facto de existirem estes dois aparelhos revela não só o ênfase colocado em Paris à transposição como a relevância de um modelo descontínuo no domínio frequencial.

O *potentiomètre d'espace* ou *pupitre d'espace* é um dispositivo que permitia distribuir um som entre quatro canais sob controlo dos movimentos da mão de um operador, captados por quatro bobinas (Chadabe 1997: 32; Holmes 2002: 94; fig.6.2). É um dispositivo capaz de funcionar em tempo real, tornando viável a experimentação ao nível de efeitos de espacialização e sobretudo de movimentação espacial das fontes sonoras – tornando-se neste aspecto mais versátil que os sistemas



Fig. 6.2 – Pierre Henry utilizando o *pupitre d'espace* (Chadabe 1997: 32).

desenvolvidos pelos engenheiros da Philips para a execução do *Poème Electronique*, que exigiam uma preparação prévia minuciosa antes de o efeito poder ser ouvido (cf. 7.1.3).

## 6.2.Köln

Na origem do estúdio de Köln e da *elektronische Musik* está o encontro, entre 1948 e 1950, de quatro indivíduos com perspectivas complementares sobre a relação entre recursos electrónicos e música: Werner Meyer-Eppler, director do Departamento de Fonética da Universidade de Bonn; Homer Dudley, que em 1948 apresentou a Meyer-Eppler o recém-criado *Vocoder* (cf. 3.8), Robert Beyer, da NWDR, que já em 1928 tinha escrito um artigo em que discutia o uso de instrumentos electrónicos na composição musical, e que assistiu em 1949

a uma conferência de Meyer-Eppler, na Nord-West Deutsche Musik Akademie, em Detmold; e Herbert Eimert, compositor, que dirigiu inicialmente o novo estúdio (Manning 1993: 43-44).

Nos cursos de Darmstadt de 1950 – em que Varèse esteve presente como professor convidado (cf. cap.5; 2.5.4) – Meyer-Eppler, Beyer e Eimert associaram-se informalmente com o fim de fomentar o desenvolvimento da *elektronische Musik* (Manning 1993: 44). Entretanto, após algumas experiências baseadas na síntese por gravação sucessiva em fita magnética (*Klangmodelle*) decidiram, juntamente com Fritz Enkel, criar um estúdio, que ficou parcialmente operacional a partir de fins de 1952 (Manning 1993: 44-45). Uma parte considerável do equipamento foi projectada pelo próprio Enkel.

No início de 1954 havia no estúdio três gravadores – de uma pista, de quatro pistas e de velocidade variável (Manning 1993: 53). Holmes (2003: 102-103) refere que em 1957 a maioria dos estúdios ainda usavam gravadores de duas pistas: como vimos Paris possuía apenas de um três pistas (embora dispusesse de facilidades de espacialização graças ao *potentiomètre d'espace*). No mesmo ano em

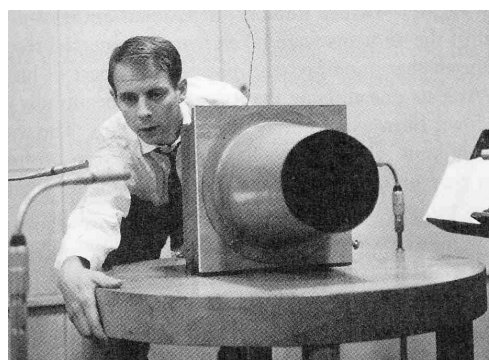


Fig. 6.3 – Stockhausen operando a mesa rotativa, em 1958 (Holmes 2002: 141).

que era estreado o *Poème Electronique*, Stockhausen explorava as possibilidades de sugerir movimentos espaciais através de quatro canais, inventando um processo semi-mecânico de obter movimentos de translação do som: uma mesa rotativa, accionada manualmente, com um altifalante em cima, colocado numa caixa que o tornava mais direccionado (fig. 6.3). Este dispositivo, usado em *Kontakte*, é um testemunho de como nesta época o equipamento era frequentemente inventado *ad hoc*, em função de necessidades específicas do compositor.<sup>69</sup>

O gravador de velocidade variável era um *Magnetophon* da AEG – um dos primeiros modelos – adaptado para ter uma gama de velocidades de 9 cm/s a 120 cm/s (Manning 1993: 53-54), *i.e.*, numa relação de 1:13,33, permitindo numa só operação transposições até três oitavas e uma sexta.

A curva de resposta dos gravadores seria extensa nos agudos, devido às velocidades elevadas então usadas. No gravador de velocidade variável podiam mesmo ser usados sinais inaudíveis de 30 kHz, que aplicados a um modulador em anel o transformavam numa forma elementar de VCA (Manning 1993: 62-63): como o modulador em anel só apresenta sinal à

saída se ambas as entradas tiverem sinal, ao aplicar um sinal intermitente a uma das entradas é possível fazer que o sinal aplicado à outra apareça na saída alternando entre breves fragmentos de som e de silêncio, sem necessidade de corte e colagem.

Uma outra técnica de modulação de amplitude disponível consistia num amplificador cujo volume era controlado por uma LDR (*light dependent resistor*, componente electrónico cuja resistência varia com o nível de luminosidade incidente) associada a uma fonte luminosa, da qual estava separada por uma película transparente móvel, pintada com um verniz opaco de forma a deixar passar mais ou menos luz conforme se pretendia mais ou menos som (Manning 1993: 64).

Havia um filtro passa-banda, com possibilidade de variar a frequência central e o factor Q (e consequentemente a largura de banda),<sup>70</sup> e que podia ainda actuar como filtro passa-baixos ou passa-altos (Manning 1993: 58). Se por um lado havia limitações por ser um único filtro, por outro lado ele permitia variar continuamente a frequência central – ao contrário dos bancos de filtros que mais tarde se vulgarizaram (cf. Manning 1993: 59).

O estúdio dispunha também de um banco de filtros, com frequências centrais de 75, 150, 300, 600, 1.200, 2.400 e 4.800 Hz (Manning 1993: 60), que podiam ser ligados ou desligados a partir de uma fita contendo sinais de controlo entre 1.000 e 5.000 Hz. O sinal desta fita de controlo atravessava filtros ressonantes com um factor Q elevado, ligados a detectores de sinal e relés (Manning 1993: 64), um princípio idêntico ao que foi usado no pavilhão Philips para controlar as luzes e a espacialização (cf. 7.1.3).

Como fonte de sinal o estúdio dispunha inicialmente de um único oscilador sinusoidal (Manning 1993: 48) e toda a síntese era feita por sobreposição sucessiva. Mas a concepção do estúdio previa três outras fontes: um gerador de ruído branco e dois instrumentos electrónicos, um *Melochord* e um *elektronik Monochord* (Manning 1993: 48-49).

O *Melochord* era um instrumento electrónico solista com dois teclados monofónicos, cujas saídas eram independentes. Cada teclado tinha 37 teclas (3 oitavas, ampliáveis a sete por transposição de oitava) e estava afinado em temperamento igual. Possuía um pedal regulador de volume e para cada nota era possível activar, cada vez que era tocada a tecla, um gerador básico de envolvente que controlava apenas ataque e decaimento (Manning 1993: 48). Este gerador de envolvente podia ser colocado em *auto-triggering*, produzindo uma modulação periódica de amplitude, mas esta possibilidade não foi alvo de grande atenção (Manning 1993:

62). O *Melochord* oferecia ainda possibilidades básicas de filtragem dos harmónicos agudos (Manning 1993: 49), mas numa versão de 1953 um dos teclados podia mesmo activar filtros que controlavam o timbre do outro teclado (Holmes 2003: 102; Davies 2001a: 770).

O *elektronik Monochord* era uma variante do *trautonium*, mas com teclado. Encomendado a Trautwein e completado na oficina do estúdio por Fritz Enkel, possuía dois teclados monofónicos, com saídas independentes (Manning 1993: 48). Permitia controlar independentemente o tamanho dos intervalos (não estava assim limitado ao sistema temperado). Gerava onda em dente de serra. Possuía um pedal de volume e a dinâmica dependia também da pressão nas teclas (Manning 1993: 48). Dispunha ainda de possibilidades básicas de filtragem dos harmónicos agudos (Manning 1993: 49)

Na prática estes instrumentos foram pouco explorados, já que os músicos de Köln – em virtude de uma filosofia algo dogmática da parte de Eimert – trabalhavam essencialmente em dois sentidos: criar sons por acumulação de componentes sinusoidais (síntese aditiva) e filtrar selectivamente ruído branco (síntese substractiva).

### 6.3.Eindhoven

Antes de Varèse vir realizar o *Poème Electronique* em Eindhoven já o compositor holandês Henk Badings<sup>71</sup> havia utilizado uma secção do NatLab, o laboratório de investigação da empresa, como estúdio para a realização de obras de música electrónica. Esse laboratório foi instalado na sala 306, quando em 1956 Badings produziu, em 17 dias, o bailado *Abel en Cain*, acabando por subsistir até fins de 1960 (Tazelaar e Raaijmakers 2004: 7-8).

O departamento de acústica da Philips era dirigido pelo já referido Roeloff Vermeulen, que estava associado à Philips desde 1924. Entre 1940 e 1955 Vermeulen realizara experiências em reverberação assistida de salas e gravação estereofónica com cabeça artificial. (Tazelaar e Raaijmakers 2004: II, 9-11). Entre 1946 e 1948 desenvolveu um sistema de reprodução espacializada multipistas em colaboração com Leopold Stokowski, utilizando várias linhas telefónicas para transmitir os sinais para outra sala (*ibid.*: II, 9-10), de uma forma que recorda as experiências de Ader em 1881 (cf.2.6) e de Fletcher, com a colaboração do

próprio Stokowski, em 1933 (cf.2.6.2). Em 1940 desenvolveu o *Philiolist*, um dispositivo que permitia que um só músico tocasse vários violinos ao mesmo tempo, através de um sistema de controlo electrónico, e Stokowski discutiu com ele as possibilidades de novos instrumentos que compensassem a debilidade dos baixos numa orquestra tradicional (*ibid.*: II, 15) – recorde-se a experiência anterior do maestro com o Theremin Cello (cf. 3.4.3).

O trabalho de Paris e Köln era conhecido na Holanda. Em 1954 Walter Maas, o director da fundação *Gaudeamus*, convidou Meyer-Eppler para proferir uma série de conferências (Tazelaar e Raaijmakers 2004: I, 7). No mesmo ano Vermeulen assistiu a uma conferência sobre música, ciência e tecnologia, organizada em Gravesano por Hermann Scherchen, sobre a qual viria a escrever: «(...) I was confronted with the pioneering work of Pierre Schaeffer, and was rather surprised that it should be taken seriously by the musicians» [eu fui confrontado com o trabalho pioneiro de Pierre Schaeffer, e fiquei surpreendido que fosse tomado a sério pelos músicos] (*ibid.*: II, 12). As experiências neste domínio dos compositores holandeses passavam ao lado da degladição entre os partidários da *musique concrète* e da *elektronische Musik* (*ibid.*: I, 7), um ambiente favorável ao antidogmatismo de Varèse.

Badings realizou *Abel en Cain* em colaboração com o engenheiro Jan W. De Bruyn (o responsável pelo sistema de controlo do *Poème Electronique*). Num artigo conjunto (Badings e Bruyn 1957/58) eles descrevem os recursos usados na preparação da obra:

1. A *tone gate*, dispositivo electrónico desenvolvido especificamente para modular a amplitude de um som em forma de sino (*som delta*), *i. e.*, criar um crescendo seguido de um diminuendo. O efeito, que é obtido através da carga e descarga sucessivas de dois condensadores (Badings e Bruyn 1957/58: 193-194), tem cinco durações possíveis, seleccionáveis através de um comutador que troca os condensadores.
2. Roda magnética de reverberação, com várias cabeças de leitura (correspondendo a diferentes atrasos do sinal), permitindo que os sinais lidos pelas várias cabeças sejam misturados ao que é gravado, com as atenuações que se desejar (fig. 6.4). Note-se que este era o mesmo sistema que a Philips usava para aplicar reverberação assistida em salas de espectáculo (cf.2.7.1). Tazelaar (2004c)

informou-me que ela permitia atrasos temporais em duas gamas: até 1/4 s e até 1/2 s, com respostas em frequência de respectivamente 160-12.000 e 80-8.000 Hz.

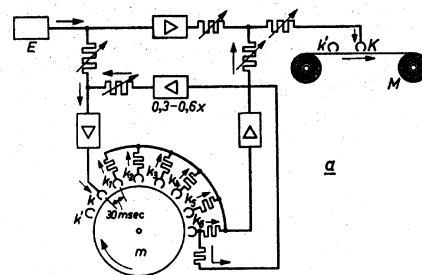


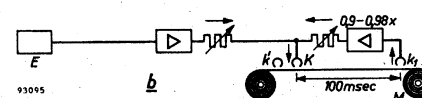
Fig. 6.4 – Esquema de princípio da roda de reverberação (Badings e Bruyn 1957/58: 195).

3. Gerador de sons sinusoidais.

4. Osciloscópio, que em *Abel en Cain* foi usado

para verificar, através de figuras de Lissajous,<sup>72</sup> quando é que os sons

produzidos por dois geradores de sinais estavam a produzir um intervalo natural.<sup>73</sup> Uma das possibilidades exploradas por Badings é a não submissão ao temperamento igual.



5. Dois multivibradores (osciladores que produzem ondas quadradas ou em dente de serra) com interfaces projectados especificamente para a produção de música:

5.1. O *baritone clavier*, que produzia onda quase quadrada e tinha botões que pré-seleccionavam frequências discretas.

5.2. Um multivibrador cuja forma de onda era quadrada no grave e quase em dente de serra no agudo, controlado por uma corda que acciona um potenciômetro. Note-se que a interface deste instrumento é remanescente do sistema de anel + fio encontrado nas *ondes martenot* (cf.3.6) com que Varèse estava familiarizado.

6. Gerador de ruído branco.

7. Filtros passa-banda de 1/3 oitava, de oitava e de mais de uma oitava.

8. Uma sirene óptica (fig.6.5), em que qualquer forma de onda periódica que se desejasse podia ser recortada num disco de papel, colocado em movimento rotativo e varrido por um feixe luminoso. Do outro lado do disco, a

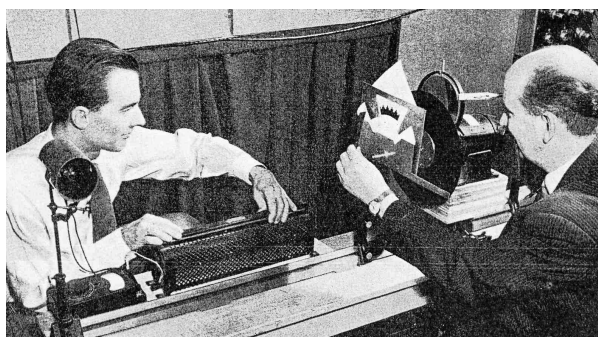


Fig. 6.5 – Badings (direita) utilizando a sirene óptica (Badings e Bruyn 1957/58: 191).

intensidade luminosa era transformada num sinal eléctrico correspondente à forma de onda desenhada, graças a uma válvula fotomultiplicadora (cuja corrente de saída depende da luz incidente).

9. Sete gravadores (fig. 6.6), dos quais cinco chegaram a ser utilizados simultaneamente em *Abel en Cain*, sendo também usadas fontes de alimentação de

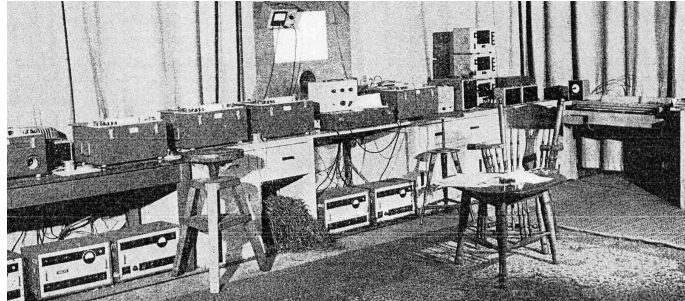


Fig. 6.6 – Sala 306 do NatLab, mostrando parte do equipamento usado na realização de *Abel en Cain* (Badings e Bruyn 1957/58: 191).

frequência variável para modificar a velocidade (*varispeed*). Segundo um relatório de Bruyn, de 7/8/1956 (Tazelaar e Raaijmakers 2004: III, 19-20), três trabalhavam a 30 polegadas por segundo (76,2 cm/s) e outros dois, ambos com velocidades de 15 e 7,5 pps (38,1 e 19 cm/s), eram uma variante estereofónica<sup>74</sup> de um modelo padrão. Dos do primeiro modelo, um era modificado para transpôr até uma oitava acima ou abaixo e outro, com uma fita de 16 mm, gravava 8 pistas. Porém, quando Varèse trabalhou no *Poème* não havia gravadores multipistas em Eindhoven (Tazelaar 2004b): os de três pistas usados para a montagem só estiveram disponíveis na fase final de montagem.

O relatório de Bruyn que referi dá-nos uma ideia muito precisa do *modus operandi* de então, e das dificuldades inerentes às limitações do equipamento, ao explicar como foi realizada a sincronização das camadas (*layers*) em *Abel en Cain*:

The beginning of a sound layer was spliced after a ‘leader’ tape containing spoken sequential reference numbers (1 through 25), each followed by an audible click. During this recording process, the inputs of all tape recorders were connected in parallel. Thus, each machine had its own leader tape. A start error could be corrected during playback of the leader tape by slightly manipulating the tape speed. However, because the machines would eventually ‘drift’ apart, acoustic layers synchronized in this fashion could not exceed three minutes. (...) We found that 8-track recorder was impossible to use for this work, because its start-time could not be precisely controlled.



Additionally, it was impossible to erase or record tracks individually on this machine. [O início de uma camada era cortado depois de uma fita inicial contendo números de referência falados (1 a 25), cada um seguido de um clic audível. Durante o processo de gravação, as entradas de todos os gravadores eram ligadas em paralelo. Assim, cada máquina tinha a sua fita inicial. Um erro de arranque podia ser corrigido durante a reprodução da fita inicial manipulando ligeiramente a velocidade da fita. Contudo, como as máquinas acabavam por se ‘desviar’, as camadas acústicas sincronizadas por este método não podiam durar mais de três minutos. (...) Descobrimos que o gravador de 8 pistas era impossível de usar para esta obra, porque o seu tempo de arranque não podia ser controlado com precisão. Além disso, era impossível apagar ou gravar pistas individualmente nesta máquina.] (Tazelaar e Raaijmakers 2004: III, 23)

Verificamos assim que o laboratório da Philips, segundo os padrões da época, dispunha de recursos variados, sofisticados mesmo, p. ex. ao nível da reverberação. A *sound gate* é um recurso especialmente interessante para um dos tipos de envolvente que Varèse já explorava nas suas obras instrumentais (os *sons delta*). Um dos multivibradores dispunha de uma interface versátil para a exploração do *continuum* de alturas e que seria familiar a Varèse. A sirene óptica era uma ferramenta simples e versátil que permitia criar qualquer timbre de som periódico (mas apenas periódico). Note-se porém a falta de recursos específicos multipistas e/ou de espacialização, essenciais ao projecto do *Poème Electronique*: nada comparável ao *potentiomètre d’espace* de Paris ou aos gravadores de quatro pistas de Köln.

## 7.0 POÈME ELECTRONIQUE

[...] with bells and rings that are dainty and sweet [...] likewise great sounds extenuate and sharp[...] yea, some rendering the voice, differing in the letters or articulate sound from that they receive [(...) com sinos e campainhas que são delicados e doces (...) e igualmente sons grandes como ténues e agudos (...) ou ainda alguns transformando a voz, tornando-a diferente nas letras ou som articulado em relação ao que recebem] (Bacon 1626: 129)

### 7.1.O Pavilhão Philips como Instrumento Musical

Ao longo da sua carreira, Varèse teve duas vezes a oportunidade de compôr obras para a estreia de um instrumento específico: a primeira foi *Density 21.5*, encomendada em 1936 por George Barrière para estrear a sua flauta de platina, a segunda em 1957/58, quando a Philips, por insistência de Le Corbusier, lhe encomendou a componente sonora do *Poème*. As dimensões dos recursos encontram-se nos dois extremos do que Varèse utilizou (apenas *Espace*, se se tivesse materializado, utilizaria recursos maiores: o mundo inteiro). Há porém um outro aspecto em que se diferenciam: enquanto a primeira pode ser tocada em qualquer flauta (e é de resto a obra mais tocada e mais divulgada de Varèse) o *Poème* só podia ser ouvido na sua plenitude no instrumento para que foi originalmente concebido. É precisamente este instrumento, que já não existe, que vamos tentar compreender de seguida.

#### 7.1.1.O Espaço Interior e a sua Caracterização Acústica

Xenakis (1976: 129-131) relata que o seu primeiro estudo (após algumas tentativas infrutíferas) para a definição da forma do Pavilhão Philips se baseara na análise de quatro factores: «surface d'évolution du public» [superfície de evolução do público], «auditorium

électro-acoustique» [auditório electroacústico], «lumière et couleurs – projections» [luz e cor – projecções] e «construction – technique» [construção – técnica]. No que toca às necessidades do espaço enquanto auditório electroacústico, ele enuncia os seguintes pressupostos:

La réverbération doit être suffisamment faible.

Les surfaces planes parallèles doivent être bannies en raison des réflexions multiples.

Les angles trièdres également car il y a de la réverbération accumulée sur les plans bissecteurs des angles dièdres.

Par contre les surfaces courbes, non de révolution, à rayon de courbure variable sont excellentes. Les portions de sphère par exemple sont à rejeter car elles condensent le son au centre.

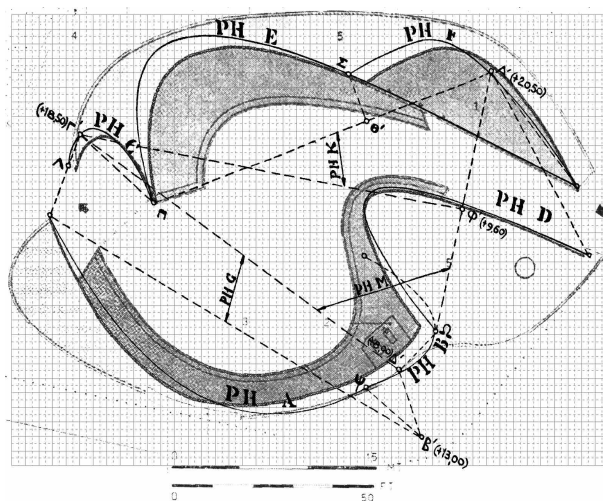
[A reverberação deve ser suficientemente fraca.

[As superfícies planas paralelas devem ser banidas por causa das reflexões múltiplas.

[Os ângulos triedros igualmente, por existir reverberação acumulada nos planos bissectores dos ângulos diedros.

[Pelo contrário as superfícies curvas, não de revolução, com raio de curvatura variável são excelentes. As porções de esfera por exemplo são de rejeitar porque condensam o som no centro.] (Xenakis 1976: 130)

Juntamente com considerações estruturais e estéticas, esta análise conduziu à criação de uma estrutura que consiste numa concha, realizada em betão pré-esforçado de 5 cm de espessura (Xenakis 1958/59: 6), formada por 9 superfícies curvas – parabolóides hiperbólicos (Ph),<sup>75</sup> rematadas na entrada e na saída. Para além das fotografias existentes, das quais Treib (1996) nos apresentava com uma amostra assaz generosa, existe um plano desenhado por Xenakis, à escala 1/200, da versão final

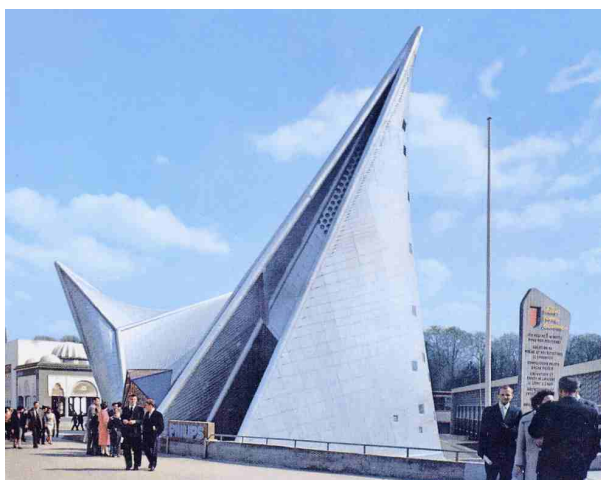


**Fig. 7.1** – Planta, ao nível do solo, do Pavilhão Philips. Desenho de Xenakis (1958/59: 6-7). A cinzento, um outro desenho da planta, sobreposto para estabelecer a escala (puente 200:136). A quadrícula, ajustada pela escala do 2º desenho, representa 1 m linear por quadrado em linha contínua.

do pavilhão, reproduzida em Xenakis (1958/59: 6-7) e (Treib 1996: 44). Infelizmente, não existe neste desenho uma escala gráfica e não sabemos quantas vezes o desenho foi reduzido. Para obstar a este inconveniente, sobrepuz um outro desenho, com escala gráfica (Puate

2000: 136),<sup>76</sup> ajustando os dois para se enquadrarem numa quadrícula em que cada quadrado em linha contínua representa um metro linear (fig.7.1).

A fig.7.2 mostra-nos o exterior do resultado final. Há duas pontas visíveis, e uma terceira está escondida. As formas curvas e as direcções oblíquas das pontas tornam a planta insuficiente para nos dar uma ideia da natureza do espaço interior – ao contrário do que acontece em formas arquitectónicas baseadas em paredes ortogonais em relação ao plano do solo.



**Fig. 7.2** – O Pavilhão Philips, segundo um postal da época (Treib 1996: 141), do lado da entrada.

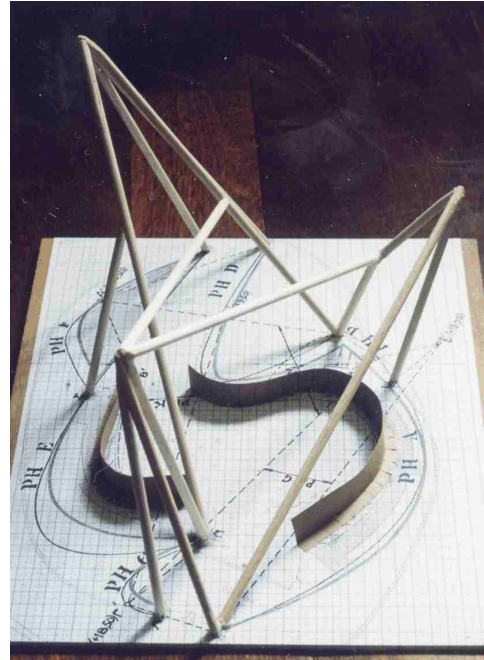
#### **7.1.1.1.Geometria do interior**

Compreender como se desenvolve o espaço interior era um pressuposto indispensável à compreensão da forma como o Pavilhão funcionava como instrumento musical, como «réceptacle des développements actuels de la musique électromagnétique» [receptáculo dos desenvolvimentos actuais da música electromagnética], para usar a expressão de Xenakis (1976: 130), dado que:

- 1.Um dos pressupostos da escolha de superfícies curvas fora, como vimos, o evitar superfícies plana paralelas (com o risco de se produzirem sistemas de ondas estacionárias ou ecos pulsantes).
- 2.Um dos aspectos mais inovadores e emblemáticos do *Poème Électronique* era a manipulação espacial do som. Mais importante, essa manipulação não era realizada apenas a duas dimensões, mas jogava mesmo com a dimensão vertical.
- 3.Limitar severamente a reverberação foi uma preocupação expressa (uma questão a que voltaremos mais adiante). Conhecendo a geometria interior e os materiais que as revestem é possível fazer uma estimativa teórica do que terá sido um

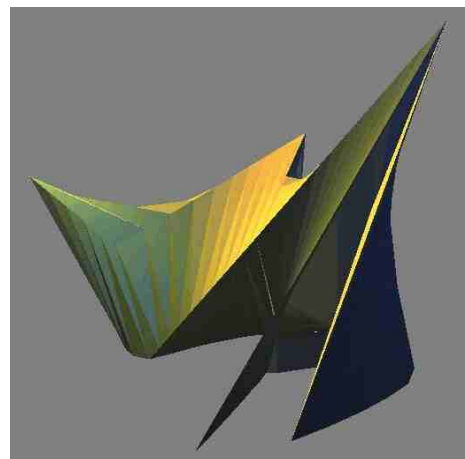
tempo de reverberação «suficientemente baixo». Para tal é preciso, contudo, conhecer as superfícies interiormente expostas das Ph que constituem a concha, bem como o volume interior – tarefas que, dada a forma, foram tudo menos triviais.

A minha primeira abordagem à questão do espaço interior consistiu na construção de uma maquete à escala 1/100 (fig.7.3), a partir da planta de Xenakis (fig.7.1), a que desta vez sobrepuz um outro esboço (Kalff 1958/59: 41; Treib 1996: 160) que mostra a disposição dos equipamentos interiores e das portas de entrada e de saída.<sup>77</sup> Os espaços entre as arestas desta maquete foram parcialmente preenchidos com papel vegetal, mas o resultado foi insuficientemente preciso para fazer sequer uma estimativa das áreas interiormente expostas da concha – já sem falar no volume interior.<sup>78</sup>

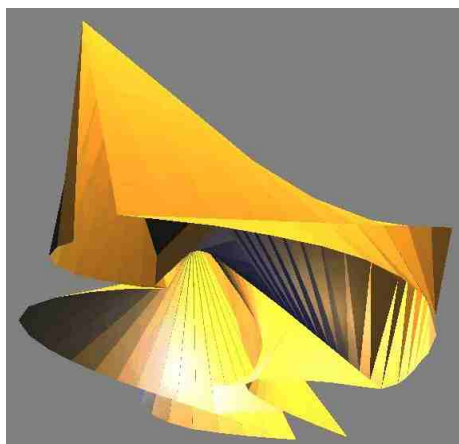


**Fig. 7.3** – Maquete construída para avaliar a volumetria interior do pavilhão (lado da saída). Nesta fase apenas se achavam colocadas as arestas que serviam de base às Ph.

Com base na fig.7.1 criei um modelo tridimensional do pavilhão, usando software específico.<sup>79</sup> As Ph foram reduzidas a triângulos, a fim de permitir o cálculo das suas áreas expostas – como resultado, o modelo é visualizado com uma forma cheia de discontinuidades que não existiam realmente no Pavilhão Philips.<sup>80</sup> A fig.7.4 mostra uma perspectiva deste modelo visto do exterior, enquanto a fig.7.5 mostra o interior do pavilhão visto «por baixo».



**Fig. 7.4** – Modelo simplificado do Pavilhão Philips, visto de um ponto à esquerda e acima do que corresponde à fig.7.2, permitindo ver, ao fundo, a ponta correspondente à saída.



**Fig. 7.5** – Modelo visto de um ponto imaginário abaixo do nível do solo. Ao fundo, a entrada vista pelo interior.

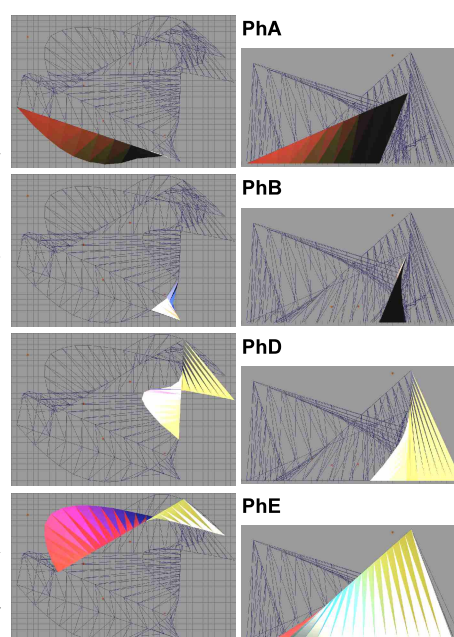
A perspectiva da fig.7.5 permite-nos fazer uma avaliação rudimentar da assimetria das superfícies que formam as conchas.<sup>81</sup> Uma avaliação mais objectiva e sistemática pode ser obtida por dois processos: a observação da geometria de cada uma das superfícies que formam a concha, em alçado e em planta, e a observação daquilo a que poderemos chamar as «curvas de nível do interior» – a planta do espaço interior a 0, 1, 2, 3, ..., 18, 19 e 20 m de altura.

Para a primeira observação recorri à fig.7.6, onde é mostrada em *wireframe* a estrutura modelada da concha, constituída pelas superfícies côncavas PhA e PhE e pelas convexas PhB e PhD. As PhC e PhE (ver figs.7.1 e 7.3), correspondendo à entrada e à área dos equipamentos de controlo, respectivamente, não são visíveis do interior.

Quanto às superfícies côncavas, a linha de intersecção com o solo mostra que a curvatura não tem raio constante. Além disso, se confrontarmos a planta com o alçado podemos concluir que estas superfícies são «torcidas» no plano vertical (a sua inclinação não é constante). Estes dois factores poderão contribuir para

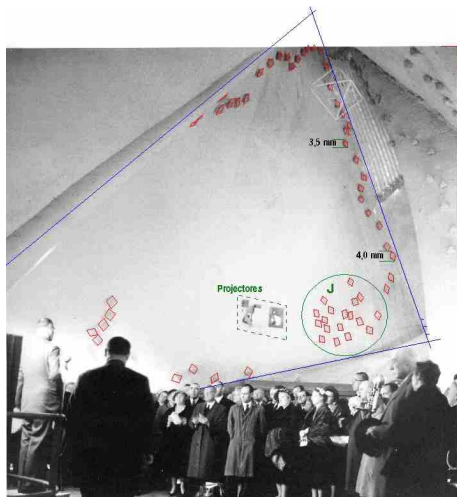
uma melhor difusão do som – algo que se torna extremamente importante dado que, como veremos mais adiante, as superfícies interiores tinham coeficientes de absorção elevados, o que poderia conduzir a uma quase total ausência de campo sonoro difuso e a uma distribuição do som excessivamente irregular.

PhB e PhD, por serem convexas, contribuem também para uma melhor difusão. A posição da PhD, em frente a um grupo de altifalantes que produzem uma frente de onda altamente direccionada<sup>82</sup> (identificado como J; ver fig.7.7), propicia um espalhamento do som radiado de forma a cobrir toda a superfície do pavilhão.<sup>83</sup> Um outro aspecto é o facto de a

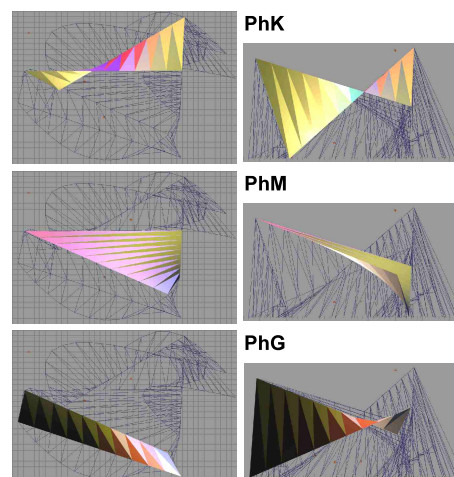


**Fig. 7.6** – Modelo do Pavilhão Philips: as quatro Ph laterais da concha, em planta (esquerda) e alçado (direita).

superfície côncava de PhE estar quase de frente para a superfície convexa de PhD, podendo propiciar reflexões múltiplas entre as duas; note-se porém que a distância entre elas não é constante, o que evita a criação de sistemas de ondas estacionárias ou de ecos.



**Fig. 7.7** – Interior do Pavilhão Philips, junto à entrada (Treib 1996: 97). Marcados a vermelho, alguns altifalantes dispostos na PhE junto à entrada. A forma convexa do lado direito é a PhD.



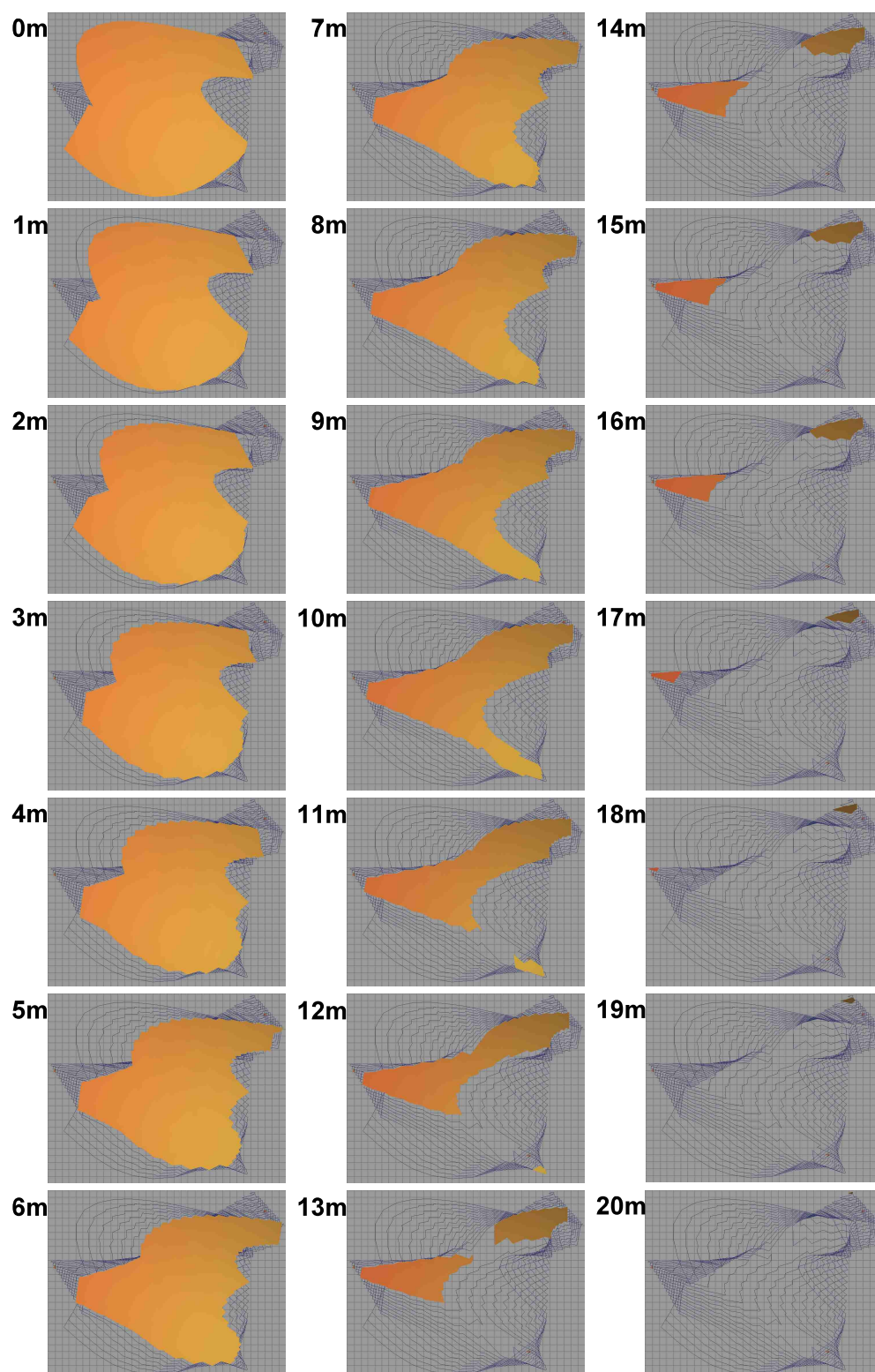
**Fig. 7.8** – As Ph superiores do Pavilhão Philips, em planta (esquerda) e em alçado (direita).

A fig.7.8 mostra, em planta e alçado, as Ph que não contactam com o solo (funcionando como «cobertura», se o termo se pode aqui empregar). Estas superfícies não são paralelas ao chão (o que, a verificar-se, poderia dar origem a sistemas de ondas estacionárias ou ecos pulsantes); bem pelo contrário, formam ângulos com o solo altamente variáveis, o que contribui para uma melhor difusão do som pela totalidade do espaço interior.

(Incidentalmente, as projecções da componente visual eram realizadas em duplicado, sobre duas superfícies em lados opostos do pavilhão, formadas por PhA e PhG de um lado e por PhE e PhK do outro).

A segunda abordagem do espaço interior baseou-se na localização dos pontos de intersecção entre as arestas da concha que são visíveis do interior (incluindo, além das Ph atrás apresentadas, as superfícies que encerram a entrada e a saída) e os vários níveis da coordenada z (altura), de metro a metro, entre 0 m e 20 m. Estes pontos constituem os vértices de um conjunto de 21 polígonos, que correspondem à «planta», ou melhor, a um corte horizontal do interior, tomado a cada uma das alturas. A fig.7.9 mostra estas «curvas de nível».





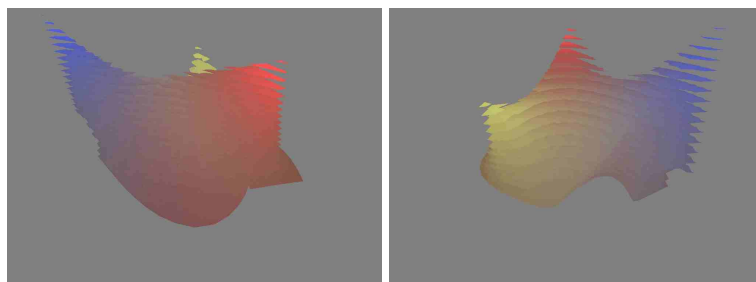
**Fig. 7.9** – Planta do espaço interior a diferentes alturas (0 m = nível do solo).



A fig.7.9 mostra-nos que só a partir dos 11 m de altura é que os espaços correspondentes às três pontas do pavilhão se começam a separar. Mostra-nos também que a forma em planta do pavilhão se modifica dramaticamente a diferentes alturas (olhando só para a planta ao nível 0 ficamos com uma ideia muitíssimo limitada da natureza do volume interior, ao contrário do que acontece no caso de edifícios em que as paredes são verticais).

Apesar de existirem muitas fotografias do interior do Pavilhão Philips, a ideia que estas nos proporcionam do espaço interior é limitada: a única forma de captar a geometria, no espaço disponível para o fotógrafo, era através de objectivas de baixa distância focal, cuja distorção visual exagera o dramatismo das formas mas dificulta a apreensão da real natureza deste espaço. Existe actualmente uma apresentação multimédia, ainda não comercializada, produzida pelo arquitecto belga Piet Lelieur e pelo compositor holandês Kees Tazelaar, que permite visualizarmos o acto de entrar no pavilhão, assistir ao espectáculo multimédia e sair, através de uma modelação virtual do pavilhão e do espectáculo – possivelmente o máximo que nos poderemos aproximar da sensação que tiveram os que assistiram ao espectáculo sem reconstruirmos fisicamente o pavilhão.<sup>84</sup>

O modelo que aqui apresento, embora muito mais rudimentar (o objectivo é uma avaliação do espaço, não uma reconstrução visual), permite



**Fig. 7.10** – Modelo do espaço interior do Pavilhão Philips (polígonos correspondentes às curvas de nível, de 1 e 1 m), visualizado do lado da PhE (esquerda) e das PhD (direita).

uma outra abordagem: juntando os polígonos que representam os vários níveis e representando-os em perspectiva temos uma espécie de molde do espaço interior (fig.7.10).<sup>85</sup> (Ao contrário das figs.7.4 e 7.5, os espaços ocupados pela entrada e pela saída são agora excluídos).

A observação conjunta das figs.7.9 e 7.10 leva-me a concluir que o espaço interior, embora complexo e altamente assimétrico, não contém nichos claramente demarcados. Embora as duas pontas mais elevadas pudessem aparentemente funcionar como tubos cónicos fechados numa das extremidades (o que resultaria em ressonâncias no extremo do registo grave) isto não se terá verificado, pois elas desembocam progressivamente no volume principal, sem que haja um alargamento súbito da sua secção – condição que nos tubos

convencionais é responsável por uma diminuição brusca de impedância de que resulta a reflexão da onda em inversão de fase. Mesmo que houvesse uma tal reflexão de onda, o facto de a concha ser interiormente revestida de um material com um coeficiente de amortecimento elevado reduziria fortemente o factor Q de eventuais ressonâncias, tornando-as inócuas do ponto de vista da coloração do som. Por outro lado, o alargamento progressivo dos picos, à medida que se aproximam do espaço onde se encontra o público, leva a que as ondas sonoras produzidas pelos altifalantes que se encontram no seu interior, mesmo que estes funcionem como fontes pontuais, tendam a transformar-se em ondas planas, de forma que a maior parte da sua energia atinge o público como onda directa, contribuindo para a clareza da reprodução.

### 7.1.1.2. Tempos de Reverberação

Vimos que uma das preocupações de Xenakis era a obtenção de uma «reverberação suficientemente fraca». Impõe-se aqui a questão: quão fraca?

Esta questão não tem de ser meramente retórica. O que sabemos acerca da ocupação, materiais, revestimentos e geometria do Pavilhão Philips permite o cálculo teórico do seu tempo de reverberação, através de uma adaptação da fórmula de Eyring-Norris (Henrique 2002: 774; Knudsen e Harris 1978: 138):<sup>86</sup>

$$tr_{(60)} = \frac{(4 \ln(10^6) / v) \cdot V}{A_{ar} - S \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

$v$  = celeridade do som no ar  
 $V$  = volume interior  
 $S$  = soma das superfícies absorventes  
 $\bar{\alpha}$  = absorção média

A partir das coordenadas do modelo gráfico descrito na secção anterior pude estabelecer um volume interior de 4362,75 m<sup>3</sup>, bem como superfícies interiores de 1686,84 m<sup>2</sup> para a concha e de 478,595 m<sup>2</sup> para o chão.<sup>87</sup> Para as divisórias que escondem o equipamento estimei um comprimento de 48 m, com base na planta, e uma altura de 1,8 m através de uma fotografia (Puente 2000: 138), por comparação com a altura das pessoas presentes. A partir da observação de duas fotografias (fig.7.7 e Puente 2000: 135) estabeleci como provável uma ocupação de 40% mulheres e 60% homens num total de 500 pessoas.

A escolha dos coeficientes de reverberação baseou-se na selecção entre os valores apresentados em diversas tabelas, tendo em conta uma avaliação da credibilidade das fontes e da consistência dos valores apresentados (ver anexo B). Nalguns casos foi necessário tomar em conta valores relativos a materiais comparáveis. O valor mais problemático de encontrar foi o relativo ao amianto projectado: em primeiro lugar por se tratar de um componente crítico (corresponde à maior superfície), em segundo por não sabermos a espessura exacta (assumi 25 mm),<sup>88</sup> se sua aplicação foi homogénea ou como foi aplicada a pintura. Silva (1989: 138) observa:

Normalmente, as massas porosas perdem, quando pintadas, muito da sua absorção sonora pois, tratando-se de materiais higroscópicos, a tinta ascende por capilaridade através dos interstícios, seca e, colmatando os poros até uma profundidade apreciável, retira às massas a textura e as propriedades dos materiais porosos. (...) Usualmente, a modificação da cor natural das massas aplicadas por projecção é feita por adição, no material a projectar, de fibras coradas ou de pigmentos fornecidos pelo próprio fabricante.

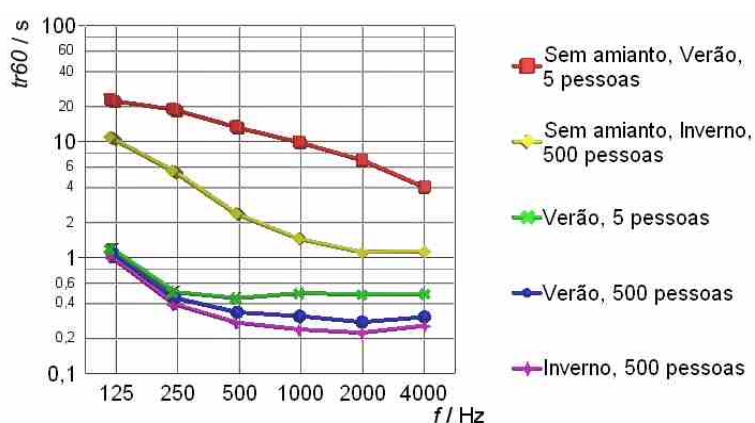
A concha é constituída por superfícies amplas de betão pré-esforçado com apenas 5 cm de espessura. É provável que estas superfícies apresentassem ressonâncias estruturais, funcionando eventualmente como absorsores de baixas frequências. Assim, é provável que os tempos de reverberação a baixas frequência fossem na realidade mais baixos do que os resultados que a seguir apresento.<sup>89</sup>

A fórmula de Eyring-Norris pode introduzir erros da ordem de 45% apenas devido ao facto de não tomar em conta a disposição das várias superfícies absorventes (Schroeder 1984: 46). Tendo em conta a análise geométrica do pavilhão (ver 7.1.1.1), parece-me improvável que o erro, neste caso concreto, seja muito próximo deste valor. Por último, para além da incerteza associada aos coeficientes de reverberação apresentados nas publicações, estes aparecem geralmente com apenas dois algarismos significativos. Assim, embora de seguida apresente os resultados que obtive com 4 a 5 algarismos significativos, apenas os dois primeiros são minimamente credíveis.

Os tempos de reverberação, em segundos, que encontrei para cinco cenários diferentes, sempre considerando uma temperatura de 20°C e 70% de humidade, foram os seguintes:

Cenário	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sem amianto, Verão, 5 pessoas	21,958	18,335	12,968	9,675	6,814	4,025
Sem amianto, Inverno, 500 pessoas	10,432	5,427	2,361	1,455	1,123	1,145
Verão, 5 pessoas	1,187	0,513	0,456	0,503	0,492	0,497
Verão, 500 pessoas	1,102	0,458	0,346	0,321	0,285	0,315
Inverno, 500 pessoas	1,013	0,403	0,282	0,247	0,232	0,266

A fig.7.12 mostra-nos os mesmos resultados sob a forma de gráfico. Note-se que sem o revestimento de amianto os tempos de reverberação seriam elevados até para uma performance instrumental tradicional, mesmo com o



pavilhão cheio. Com o pavilhão vazio, seriam incomportáveis em qualquer situação. O revestimento da concha com um material altamente absorvente era por isso condição indispensável<sup>90</sup> a um funcionamento minimamente aceitável do pavilhão enquanto receptáculo de música electroacústica.

Na configuração que foi efectivamente implementada verificamos que os valores variam entre 0,23 s e 0,51 s, salvo a 125 Hz, onde sobe para cerca de um segundo. A ser verdadeiro este último valor, a articulação dos graves poderá eventualmente soar menos precisa, com um pouco do carácter «boomy» associado às colunas bass reflex. Vários autores consideram favorável, para tornar «calorosa» uma sala, um tempo de reverberação no extremo grave cerca de 50% mais elevado no extremo grave que no extremo agudo (Hall 1980: 353), mas neste caso a reverberação a 125 Hz é 139%, 250% e 281% superior à de 4.000 Hz, respectivamente para cada um dos três últimos cenários.

Relativamente aos outros valores, de notar que a influência do público não é de desprezar. A 1000 Hz, o facto de as roupas serem de Verão e não de Inverno, com o pavilhão cheio, pode significar um aumento de 30%, enquanto que com o pavilhão praticamente vazio

temos um aumento de 57%. Entre as situações de Inverno, casa cheia, e Verão, casa vazia, o valor duplica. Note-se que, segundo Schroeder (1984: 46), o ouvido humano é capaz de apreender diferenças entre tempos de reverberação da ordem de 4%. Podemos assim concluir que, apesar de o *Poème Electronique* ser gravado e a sua reprodução automatizada, a obra terá soado diferente ao longo dos quase nove meses em que foi apresentado.

Consideremos agora em termos absolutos os tempos de reverberação a 250-4.000 Hz, tendo em conta o volume do Pavilhão Philips. Um valor proposto pelo «German Surround Sound Forum» para condições de audição de referência é, nesta situação 0,88 s (Rumsey 2003: 129-130), enquanto Knudsen e Harris (1988: 173) propõem um valor de 0,9 s numa sala destinada à fala (portanto, com exigências de clareza). Valores mais baixos podem ser vantajosos quando se pretende, como era o caso, estabelecer contraste entre momentos sem reverberação e momentos com reverberação introduzida artificialmente. Os valores que encontrei vêm ao encontro deste requisito, mas poderão ter-se traduzido, na prática, por uma acústica excessivamente seca. Numa obra construída integralmente por montagem em fita magnética um pouco de reverberação pode ajudar a fundir camadas de som cujo resultado de outra forma soaria excessivamente a «colagem» (um truque frequente na década de 1950), mas também diminui a clareza.

A reconstrução de Tazelaar do *Poème Electronique*, sem reverberação adicionada, apresenta uma clareza muito maior que a publicada em Chailly (1998), que foi sujeita pelos engenheiros da Decca a reprodução numa sala de concerto e regravada com microfones, integrando portanto a reverberação da sala em questão (Tazelaar 2004c).<sup>91</sup> Por outro lado, Le Corbusier, numa carta a Louis Kalff com data de 14/11/1958 refere:

My brother, a musician, told me that Mr de Bruin gave him a personal performance of the music alone. My brother was taken by this performance of the music of Varèse. [O meu irmão, um músico, disse-me que o sr. De Bruin lhe proporcionou uma apresentação pessoal da música sozinha. O meu irmão ficou impressionado com esta apresentação da música de Varèse.] (Treib 1996: 251)

Esta apreciação do irmão de Le Corbusier na situação específica da ausência de público e do espectáculo visual poderá ter várias causas: a não interferência do ruído do público, a não

distracção com a componente visual, mas talvez também o efeito de alguma reverberação adicional – que, como vimos atrás, não era de desprezar neste contexto específico.

### 7.1.1.3.Outras Considerações

A formulação de Xenakis dos pressupostos para a concepção do Pavilhão Philips revela consciência da problemática da acústica arquitectural, não apenas ao nível do tempo de reverberação, mas também das implicações acústicas da geometria. Knudsen e Harris (1988: 160), num texto publicado originalmente em 1950, observam:

The epochal researches of W. C. Sabine demonstrated, but probably overemphasized, the large role that reverberation time plays in the determination of the quality of the acoustics of rooms. Manufacturers and distributors of building materials responded eagerly to the need for sound-absorptive materials in the control of reverberation (...) As a result, there has developed a tendency to regard the control of reverberation time as the dominant and almost determining element in room acoustics, and at the same time to give too little regard other important aspects of design, such as shape and size. [As pesquisas históricas de W. C. Sabine demonstraram, mas provavelmente sobrevalorizaram, o grande papel que o tempo de reverberação tem na determinação da acústica de salas. Fabricantes e distribuidores de materiais de construção responderam ansiosamente à necessidade de materiais acusticamente absorventes para o controlo da reverberação (...) como resultado, surgiu uma tendência para ver o controlo do tempo de reverberação como o elemento dominante e quase determinante na acústica de salas, e ao mesmo tempo a olhar com excessiva falta de atenção para os outros aspectos do projecto, como a forma e tamanho.]

A perspectiva destes autores é em grande parte consistente com a de Xenakis. Não temos elementos para conhecer as fontes de informação relativamente à acústica arquitectural a que este teria acesso durante a concepção do Pavilhão Philips, mas sabemos que ao longo dos cerca de dois anos que levou a criação e construção do pavilhão houve contactos frequentes entre ele e os técnicos da Philips (cf. Treib 1996: 9-96). Um desses técnicos era Willem Tak, especialista em acústica. Treib, depois de comentar o carácter metódico de Tak (Treib 1996: 192), observa que havia histórias segundo as quais ele também tinha «an intuitive side and that when consulting on acoustics, his analyses of spaces might begin simply by clapping his hands to test for reverberation» [um lado intuitivo e que quando era chamado

como consultor em acústica as suas análises poderiam começar simplesmente com ele a bater palmas para testar a reverberação» (*ibid.*: 266, nota 60).

Não creio que esta prática correspondesse a um «lado intuitivo», nem que se destinasse exclusiva ou principalmente a testar a reverberação. Knudsen e Harris (1988: 184) escrevem:

All large rooms should be tested for echoes. A simple but effective test consists in producing a sharp hand clap and listening for an echo for suspected surfaces. (...) A hand clap is an effective means for detecting 'room flutter.' (...) Next, and most important of all in the majority of large auditoriums, is the checking of the reverberation characteristics. Although a well-trained observer with keen auditory perception may rely on ear tests for this important check-up, it is wise to have a quantitative measure of the reverberation time at 128, 512, and 2048 cycles. [Todas as salas de grandes dimensões devem ser submetidas a um teste de ecos. Um teste simples mas eficaz consiste em bater palmas uma vez, de forma precisa, e procurar auditivamente um eco em superfícies suspeitas. (...) Um bater de palmas é um meio eficaz para detectar ecos pulsantes. (...) De seguida, e mais importante do que tudo para a maioria dos auditórios de grandes dimensões, é a verificação das características de reverberação. Embora um observador bem treinado com uma boa percepção auditiva possa confiar em testes auditivos para esta importante verificação, é prudente tomar uma medida quantitativa do tempo de reverberação a 128, 512 e 2.048 ciclos.]

Knudsen e Harris (*ibid.*: 169; 180-181) publicam esquemas e fotografias de modelos usados na planificação acústica do Auditório Philips, em Eindhoven, e da sala da assembleia geral no edifício das Nações Unidas, em Genève, incluindo um modelo tridimensional em madeira à escala, outro cheio de fumo para verificar opticamente a geometria de radiação na sala e outro em vidro opalino para verificar a distribuição sonora. Estas imagens são creditadas a Roeloff Vermeulen (o director do Departamento de Acústica da Philips até 1962) e J. De Boer. Já referi (2.7.1) a ligação da Philips e de Vermeulen ao desenvolvimento do sistema de reverberação assistida aplicado ao Scala de Milão.

O texto de Knudsen e Harris é extremamente rico de informação, mas há um aspecto que não evidencia tanto como outros textos da mesma época – p. ex. Beranek (1990), originalmente publicado em 1954 – a diferença entre salas pequenas e salas grandes. Esta distinção vai servir de base a investigações posteriores, como as de Manfred Schroeder, que tratam de uma forma estatística as salas de grandes dimensões (como é o caso do Pavilhão Philips). Sobre uma das preocupações de Xenakis, o risco de modos de ressonâncias quando há superfícies paralelas, Beranek (1990: 298) escreve:

Large irregularly shaped enclosures also have normal modes of vibration that respond when driven at their normal frequencies. However, their number is so large and their pressure distribution so complex that when a source of sound excites the room it sets up standing waves that involve each wall at nearly *all* angles of incidence, even if the frequencies in the source are bunched in a narrow frequency band. Also, at any point in the room, sound waves are traveling in all directions, so that we can speak of the sound field in the room as being a *diffuse sound field*. [Espaços fechados grandes, de forma irregular, têm também modos de vibração que respondem quando excitados às suas frequências naturais. Contudo, o seu número é tão elevado e a sua distribuição de pressão tão complexa que quando uma fonte de som excita a sala cria ondas estacionárias que envolvem cada muro em quase *todos* os ângulos de incidência, mesmo se as frequências na fonte estão acumuladas numa banda de frequências estreita. Além disso, em qualquer ponto na sala, as ondas sonoras viajam em todas as direcções, de modo que podemos falar do campo sonoro como sendo um *campo sonoro difuso*.]

Na realidade, Knudsen e Harris (1988: 115-116) apresentavam uma fórmula que permitia calcular o número aproximado de modos num compartimento até uma frequência limite, e referem já que, dentro de certos limites, alterar a forma da sala não altera a densidade modal. Em estudos mais recentes (Henrique 2002: 782-783) são apresentadas quatro zonas de frequência:

#1.Zona de corte (em que não há modos)

#2.Zona modal

#3.Zona de campo difuso

#4.Zona de acústica geométrica

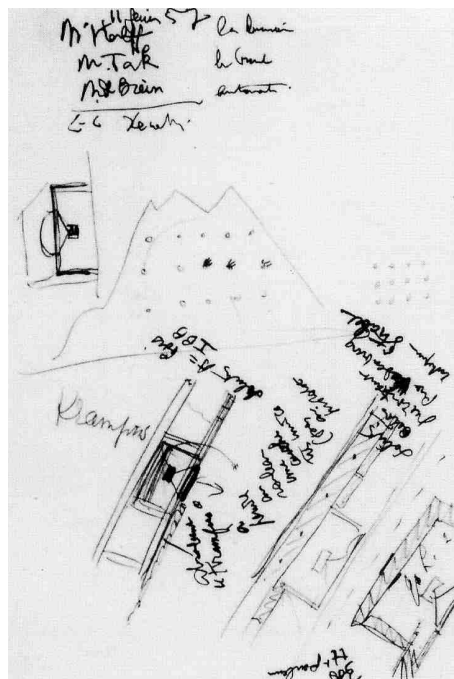
Para o pavilhão Philips, usando as fórmulas dadas em Henrique (ibid.: 783; 785), os limites entre estas zonas<sup>92</sup> são respectivamente de 5,7, 67 e 260 Hz. Isto significa que o eventual risco de coloração existiria sobretudo abaixo de 67 Hz (zona #2) e, em menor grau, entre 67 e 260 Hz (zona #3). A partir desta frequência (zona #4) a densidade modal é muito elevada e entramos no domínio exclusivo da acústica geométrica. Tendo em conta que frequências da ordem de 260 Hz são demasiado baixas para nos fornecerem pistas sobre a origem direccional do som, podemos concluir que quaisquer modos que, apesar da



irregularidade geométrica, subsistissem não iriam afectar os objectivos de espacialização do som no Pavilhão Philips.

### 7.1.2.Os Altifalantes e o Sistema de Reprodução

No interior da concha do Pavilhão Philips estavam dispostos 400 altifalantes<sup>93</sup> *full range* de 19 cm, mais 25 *woofers* de 30 cm, localizados em compartimentos de betão junto à base da concha. Originalmente estava projectado haver caixas em betão integradas na concha, ficando cada altifalante montado num orifício da concha, no exteriorno exterior, o que levantava problemas de resistência estrutural e isolamento atmosférico (Treib 1996: 66), mas Xenakis



propôs a colocação dos *woofers* junto ao solo (na realidade, o facto de estarem junto à aresta resultante da intersecção da concha com o solo evita a dispersão que resultaria do facto de eles serem praticamente omnidireccionais) e dos restantes em cilindros de material absorvente, espalhados pelo interior mas sem interferirem com as zonas de projecção (Treib 1996: 66; 85). Esta solução determinou a distribuição em grupos (na entrada, na saída e nos picos) e em carreiras (principalmente ao longo das arestas), o que acabou por influenciar o modelo de espacialização sonora final (cf. 7.1.3). Note-se que a intenção original era distribuir os altifalantes ao longo de toda a concha, numa grelha ortogonal, a distâncias de 2 m (Treib 1996: 49; fig.7.13).

Fig. 7.13 – Esboço de Le Corbusier (provavelmente 11/02/1957; Treib 1996: 155).

Tak (1958/59: 44) refere uma eficiência de 5% para os altifalantes pequenos e de 20% para os *woofers*, um valor muito elevado tendo em conta que se trata de um altifalante de radiação directa, e que justifica a necessidade de um número muito inferior ao dos restantes. O sinal era fornecido por 20 amplificadores de 120 W (Bruin 1958/59: 45) associados a um

sistema de controlo, responsável pela espacialização. Havia um máximo de 12 altifalantes por amplificador (*ibid*: 47), logo o máximo de altifalantes que poderiam estar ligados em simultâneo era  $12 \times 20 = 240$ . Daí a necessidade de um sistema de comutação entre a saída dos amplificadores e os altifalantes (cf.7.1.3).

Não disponho de elementos relativos ao modelo exacto de *woofer* utilizado. Relativamente aos altifalantes *full range* espalhados pela concha e responsáveis pelos efeitos direccionais, eles correspondiam ao modelo Philips 9710M (Tazelaar 2004c; Raes 1997), «an extremely sensitive speaker which, over a number of years, has become the most popular type for hi-fi enthusiasts» [um altifalante

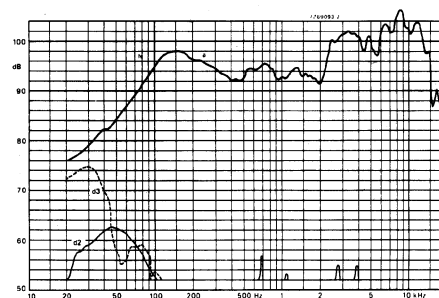


Fig. 7.14 – Curvas de resposta e distorção, medidas em câmara anecoica, do altifalante Philips 9710M (Hull 1980: 209).

extremamente sensível que, ao longo dos anos, se tornou o tipo mais popular para os entusiastas da alta fidelidade] (Hull 1980: 57). A curva de resposta deste altifalante (fig.7.14) é extensa mas não plana, apresentando um rendimento particularmente elevado entre os 2.200 e os 15.000 Hz, aproximadamente. Uma outra característica notável do modelo 9710M é a sua baixa distorção harmónica, que com a excepção do extremo grave apresenta valores inferiores a 1%, um valor excelente para este tipo de transdutor. A potência nominal<sup>94</sup> era de 10 W (daí o limite de 12 altifalantes por amplificador), pelo que, se se alimentasse o máximo de altifalantes possível teríamos uma potência de saída de 2400 W.

O elevado rendimento na região sobreaguda do modelo 9710M viria ao encontro da preferência de Varèse pelas frequências elevadas reproduzidas com intensidades consideráveis (veja-se as interpolações de *Déserts*, para além do que já referi em relação a *Equatorial*). Consideremos também a importância dos sinais agudos para a criação de pistas direccionais do som. Por outro lado, é provável que uma parte destes agudos fosse amortecida pelo elevado volume de ar no interior do pavilhão. Enquanto a 4.000 Hz o valor que encontrei para a absorção (cenário de Verão / 500 pessoas) correspondia a cerca de 1385 unidades de absorção (UA) para as superfícies e 91 UA para o ar, a 12.500 Hz a absorção do ar<sup>95</sup> corresponderia a c.654 UA, incrementando a absorção em c.40% relativamente à existente a 4.000 Hz.

### 7.1.3.As Possibilidades de Espacialização: *Loudspeaker Groups e Routes du Son*

Um dos aspectos em que o Pavilhão Philips representa um aproveitamento inédito e até ao limite da tecnologia existente é a sua implementação específica de facilidades de espacialização sonora.

Para a reprodução da componente visual (luz, projecções) e sonora (a música de Varèse, bem como a obra a reproduzir entre apresentações, *ConcretPH* de Xenakis), os técnicos da Philips (em particular Jan W. De Bruin) desenvolveram um sistema de controlo e reprodução extremamente complexo. Eram dois sistemas idênticos (com excepção dos altifalantes e cablagens) para permitir exhibições contínuas encadeadas e evitar problemas em caso de avaria. Cada sistema era constituído por:

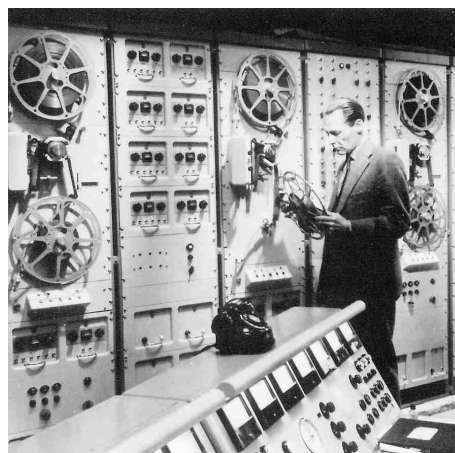


Fig. 7.15 – O sistema de controlo do Pavilhão Philips (Bruin 1958/59).

1. Um gravador de áudio, cuja fita, de 35 mm, tinha perfurações de sincronização semelhantes às das películas de cinema, que reproduzia uma fita com 3 pistas.
2. Um gravador de sinais de controlo, também com fita de 35 mm com orifícios de sincronização, que reproduzia 15 pistas, em que cada uma podia ter 12 sinais de frequências diferentes, usadas como sinais de controlo.
3. Circuitos electrónicos de comutação, à base de relés e comutadores telefónicos, que controlavam, para além das luzes e projecções:
  - a) o roteamento dos sinais de áudio de cada uma das três pistas para os amplificadores que serviam diferentes conjuntos de altifalantes;
  - b) quais os altifalantes de um dado conjunto que em cada instante estavam ligados a um amplificador, podendo ligá-lo sucessivamente a diferentes

altifalantes, a uma cadência pré-definida, formando as chamadas *routes du son*.

Os sinais de controlo eram frequências de áudio, entre 900 e 10500 Hz (havia 12 frequências distintas), gravadas em cada uma das 15 pistas da fita de controlo, e que eram separadas, na reprodução, por filtragem (Bruin 1958/59: 45). Podia-se assim obter  $12 \times 15 = 180$  sinais independentes.

No pavilhão Philips foram utilizados dois tipos de recursos para criar espacialização:

1. Distribuição de diferentes sons por grupos de altifalantes colocados em diversos pontos do espaço, os *loudspeaker groups* (LG).
2. Reprodução de sons ao longo de linhas de altifalantes que são sucessivamente ligados e desligados, criando as *sound routes* ou *routes du son* (RS).

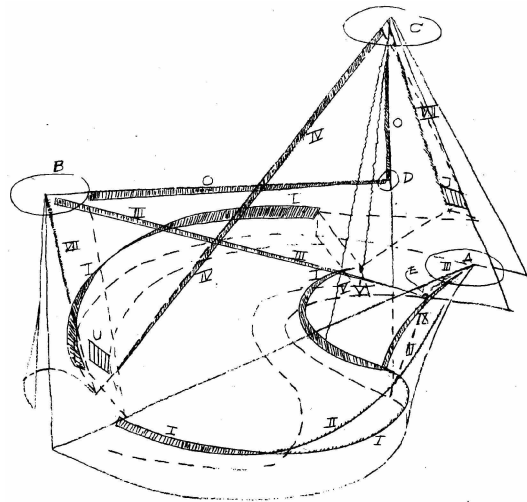
Para cada *Route du Son* (RS) o sinal era enviado sucessivamente aos cinco primeiros altifalantes, depois do segundo ao sexto, do terceiro ao sétimo, até chegar aos cinco últimos. A distribuição de alguns sinais sucessivamente pelos vários altifalantes ao longo de uma RS levanta dois problemas:

1. O sinal acústico é emitido por fontes que funcionam como se se tratasse de uma fonte móvel, produzindo potencialmente efeito Doppler. Este fenómeno pode ser visto como um inconveniente, mas pode também funcionar como um efeito de ilusão de movimento, comparável às curvas sonoras das sirenes que Varèse usava desde *Amériques*.
2. O processo de comutação utilizado pode produzir clics.<sup>96</sup> Na realidade este problema existiu durante as primeiras experiências de espacialização, na garagem-estúdio onde a obra foi produzida, mas foi depois solucionado.<sup>97</sup>

A disposição dos LG e das RS pode ser analisada a partir de três fontes:

1. Um esboço realizado por Xenakis das *routes du son* (fig.7.16).

2. Uma «schematic representation of the recorded sounds and associated control signals in the time interval from 2 min 05 sec to 2 min 35 sec» [«representação esquemática dos sons gravados e sinais de controlo associados no intervalo de tempo



de 2'05" a 2'35"»] publicada em Bruin (1958-59: 48; anexo C)

**Fig. 7.16** – Localização dos Loudspeaker Groups e das Routes du Son. Esboço de Xenakis (Treib 1996: 206).

juntamente com uma explicação do significado das abreviaturas (ibid.: 49). No anexo D inclui uma interpretação gráfica do mesmo esquema, organizada não por pistas mas pela relação funcional dos sinais.

3. Fotografias e filmes do interior (como a fig.7.7), que nos mostram a disposição dos altifalantes. Um número significativo encontra-se publicado em Treib (1996).

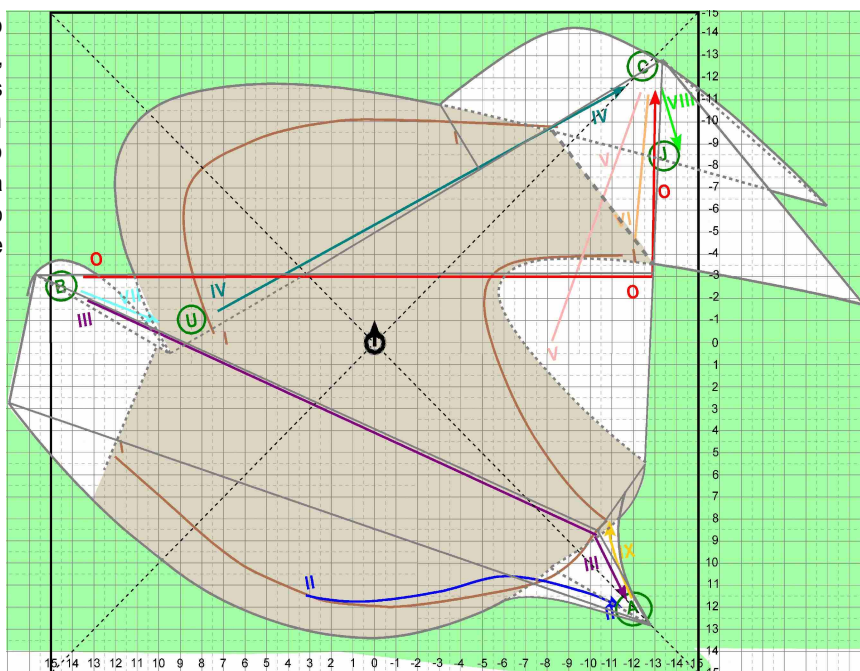
No seu conjunto, estas fontes permitem-nos reconstruir hipoteticamente as possibilidades de espacialização que o *Pavilhão Philips* proporcionava. Delas se pode deduzir a existência provável de 9 LG e 10 RS:

LG	Fig.7.16	Sons dos Anexos C / D	Localização
A	Sim	Tja-tju (I)	Pico mais baixo (13,5 m)
B	Sim	Tja-tju (III), Pss-pss (III)	Pico médio, na saída (18 m)
C	Sim	Oempang (II)	Pico mais elevado, na entrada (20,5 m)
D	Sim	—	no ângulo da RS O
E	Sim	—	no ângulo da RS III (não é certo que seja um LG)
J	Sim	Tju-tja (I)	sobre a entrada
N	—	way-way (III)	— [sem elementos] <sup>98</sup>
U	Sim	Perc (II)	sobre a saída
140	—	Tjukketjuk (III)	— [sem elementos]

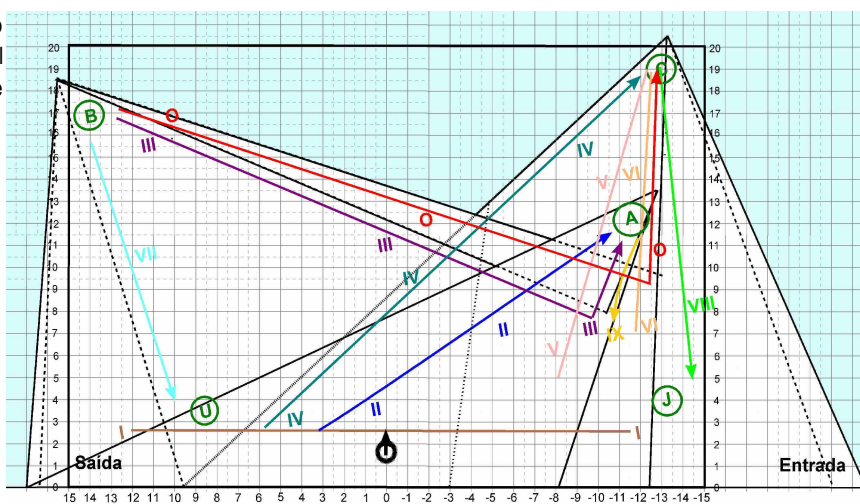
RS	Fig.7.16	Sons dos Anexos C / D
I	Sim	Tok-tok (II)
II	Sim	Parabool (I)
III	Sim	Tjukketjuk (III); Parabool (II)
IV	Sim	Parabool (III)
V	Sim	— [não é usada aqui]
VI	Sim	— [não é usada aqui]
VII	Sim	— [não é usada aqui]
VIII	Sim	— [não é usada aqui]
IX	Sim	— [não é usada aqui]
O	Sim	Whistle finger (II->I)

As figs.7.17 e 7.18 representam a minha tentativa de reconstruir a geometria aproximada de cada RS e LG em dois planos ortogonais – um horizontal (planta), outro vertical. Estes esquemas poderiam servir de ponto de partida para uma reconstituição do que poderá ter sido a espacialização original do minuto 2 do *Poème Electronique*. Servem também para tirarmos algumas conclusões, quanto à possibilidades de espacialização, e tendo em conta a posição que especifiquei para o ouvinte:

**Fig. 7.17** – Localização geométrica, no plano horizontal, dos LG e das RS. As coordenadas (x, y) são em metros. O símbolo no centro (coordenadas 0, 0) representa um eventual ouvinte, olhando para uma das superfícies de projecção.



**Fig. 7.18** – Localização geométrica, em corte vertical (coordenadas x, z), dos LG e das RS.



- 1.As RS proporcionam especialmente facilidades para produzir movimentos rápidos e amplos esquerdo-direito, ou vice-versa (RS O, II, III, IV).
- 2.As facilidades das RS incluem a criação de um movimento rotativo à volta do público (RS I), de movimentos verticais (RS VI, VII, XIX), ou que mudam de direcção a meio (RS O, III).
- 3.Os LG estão situados nos três picos (dois quais dois ficam à direita e à esquerda do ouvinte, o outro quase atrás, para a posição especificada, ou quase à frente se estiver a observar a outra área de projecção) e em baixo precisamente dos dois picos opostos, permitindo assim efeitos de alternância esquerdo-direito, cima-baixo ou lado-atrás.

Os efeitos laterais estão assim representados de forma privilegiada, uma solução eficaz tendo em conta que é nesta direcção que a nossa capacidade de discriminação direcional é mais acentuada, já que dispomos de informações relativas ao atraso interaural, à diferença de intensidades entre os dois ouvidos e às variações de resposta em frequência em função da direcção de incidência. Por outro lado, os efeitos verticais não só são possíveis como estão bem representados, quer no estado puro, quer formando percursos oblíquos. O movimento frente-trás é comparativamente sacrificado, aparecendo sobretudo em combinação com o movimento lateral, sob a forma de rotação (RS I), e ao nível da alternância ou simultaneidade entre uma RS situada à frente do ouvinte e outra atrás.

Embora segundo Bruin (1958/59: 49) os comutadores que produzem o movimento nas RS sejam capazes de mudar de altifalantes em períodos de 0,1s, os valores que encontramos no esquema do anexo C vão de 0,25 a 0,4s. Tendo em conta que cada comutador tem 26 posições, cada RS demorará tipicamente entre 6,5 e 10,4s a ser percorrida, embora em teoria o pudesse ser em apenas 2,6s.

A geometria do pavilhão reflecte-se nas rotas, tornando idiosincráticas as suas possibilidades de movimentação espacial, se comparadas com o que normalmente esperamos de um simples sistema de 4 pistas como o Stockhausen usou em *Kontakte*. Apesar disso, em *Kontakte* os movimentos limitam-se ao plano horizontal,<sup>99</sup> enquanto que no *Poème Électronique* Varèse pôde explorar a verticalidade, e em particular uma grande variedade de



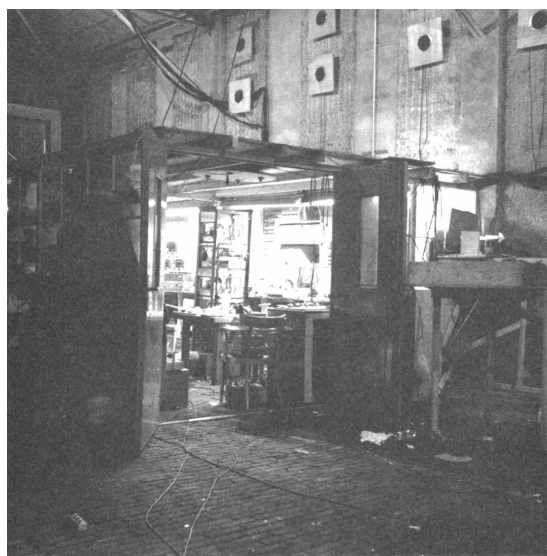
trajetórias curvilíneas e oblíquas, sem qualquer referência ortogonal – tal como visualmente acontece a quem se encontra dentro do pavilhão.

## 7.2.A Materialização Sonora do *Poème* de Varèse

### 7.2.1. Condições de Produção e Colaboradores

Para assistir Varèse na produção do *Poème Electronique* a Philips destacou o engenheiro Willem Tak, embora Jan De Bruyn, tenha colaborado de perto na criação dos materiais sonoros (cf. 7.2.3.1). Na fase final do trabalho Varèse foi assistido por um engenheiro da Philips austríaca, chamado Anton Buczynski (Tazelaar 2004b; 2004c), cujo nome não vem referido nas publicações oficiais.

Localizado recentemente no decurso da pesquisa desenvolvida à volta do *Poème Electronique* por Kees Tazelaar, Buczynski possuía diversas fotografias que tirou durante a fase da produção, e que revelam facetas ausentes das fotos oficiais. Uma delas mostra o espaço onde Varèse produziu o *Poème*: uma cabina a um canto de uma garagem de grandes dimensões (e não na sala 306, que foi parcialmente desmontada para criar este estúdio, mas onde Badings continuava a trabalhar). Os altifalantes à volta criavam uma *route du son* horizontal: não era possível, dada a altura da garagem,



**Fig. 7.19** – O estúdio improvisado a um canto de uma garagem, onde Varèse realizou o *Poème Electronique*. Note-se na parede alguns altifalantes, usados para as primeiras experiências de espacialização sonora. Foto de A. Buczynski (Tazelaar e Raaijmakers 2004: II, 20).

experimentar com movimentações verticais. Por outro lado, a reverberação deveria ser elevadíssima, sem ter nada a ver com as condições acústicas do Pavilhão Philips.

### 7.2.2.«Sound Effects»

O título do artigo de Tak publicado na *Philips Technical Review*, descrevendo o trabalho realizado com Varèse, é «The Sound Effects». Tak (1958/59: 43) refere que já ao discutir, em 1956, os efeitos sonoros com Le Corbusier estava em mente a exploração de duas categorias de recursos; por um lado, *reverberação e eco*, por outro, *estereofonia*.

Quanto à reverberação e ao eco, Tak refere:

Without the agency of visual perception, they provide us with an impression, learnt by experience, of our surroundings. (...) Reverberation (...) can also be created artificially, and in such a way that the listener's acoustical impression of their surroundings is made to differ appreciably from their visual impression. [Sem a acção da percepção visual, eles fornecem-nos uma impressão, aprendida pela experiência, do que nos rodeia. (...) a reverberação pode também ser criada artificialmente, e de tal forma que a impressão acústica que os ouvintes têm do que os rodeia difere apreciavelmente da sua impressão visual.] (*ibid.*)

Relativamente à estereofonia:

Sounds are heard to issue from a direction where there is no sound source [...] by means of purely electrical manipulations the impression of a moving sound-source is created without there being, in fact, any movement of the source. [Os sons são ouvidos como saindo de uma direcção onde não há fonte sonora (...) por meio de manipulações puramente eléctricas é criada a impressão de uma fonte sonora móvel sem que haja, de facto, qualquer movimento da fonte.] (*ibid.*)

Tak realça o potencial de ilusão destes efeitos:

The listeners were to have the illusion that various sound-sources were in motion around them, rising and falling, coming together and moving apart again [...] the space in which this took place was to seem at one instant to be narrow and 'dry', and at another to seem like a cathedral. [Os ouvintes teriam a ilusão de que várias fontes sonoras estavam em movimento à sua volta, subindo e descendo,

aproximando-se e afastando-se de novo (...) o espaço em que isto teve lugar deveria parecer num momento estreito e ‘seco’, e noutro como uma catedral.] (*ibid*)

O jogo entre sons secos, por um lado, e sons reverberantes e/ou com ecos por outro é uma constante ao longo do *Poème*. Em particular, há dois tipos de manipulação usados especificamente por Varèse, em vários momentos da obra, que realçam as possibilidades mencionadas por Tak:

1. Uso de reverberação ou ecos crescentes (algo que não encontramos na natureza) sobre um grupo de sons. Exs: 90,991s; 93,819s.
2. Uso da reverberação ou eco para adensar sinais electrónicos cuja altura varia no tempo (p.ex., glissandos), criando sons diferenciais graves entre o som original e o respectivo eco. Ex.: 143,730s.
3. Corte súbito de um som, seja sob a forma de *envolvente invertida* (o som cresce progressivamente e decresce subitamente), como em 32,150-40,687s, seja num som sustentado estável, como em 21,505-26,982s. Um caso de efeito particularmente dramático, dada a associação histórica do órgão a ambientes com muita reverberação, é o do ritmo formados por 5 sons de órgão com o ataque e a extinção cortados subitamente, usado pela primeira vez em 432,321s.

Estes efeitos só terão sido eficazes devido ao extremo amortecimento acústico do Pavilhão. Quando hoje ouvimos esta última passagem na reconstrução de Tazelaar (que não acrescenta reverberação) e a comparamos com a versão da Decca, que foi reproduzida numa sala e aí captada com microfones, facilmente nos apercebemos da importância da acústica para uma razoável apreciação auditiva do *Poème*.

### 7.2.3.Método de Trabalho

Varèse fôra imposto à Philips como condição para a aceitação do projecto do pavilhão por parte de Le Corbusier, e o acolhimento que o compositor tivera por parte da empresa – a qual preferia um nome mais tradicional, como Benjamin Britten – foi sempre no mínimo reservada (Treib 1996: 3-4; 18; 168-172; 194). Ao contrário de Badings, que fizera o *Abel en Cain* em 17 dias, Varèse trabalhava lentamente, experimentando, sem apresentar um produto acabado que se achasse em proporção com o tempo dispendido. Este *modus operandi*, com a sua aparente irracionalidade, desconcertava Tak, que costumava contar um episódio em que Varèse, depois de passar horas sem sucesso à procura de um som, ouvira a dobradiça da porta a ranger e dissera: «preciso desse som!» (Treib 1996: 182).

O episódio da dobradiça revela um aspecto importante no método de trabalho de Varèse: a atenção constante ao potencial de cada som que se lhe depara, a fim de descobrir «a inteligência que nele possa existir», parafraseando Wronsky. Uma implicação deste método é a postura de sensibilidade: mais do que impor ao mundo um modelo de som que concebe isolado em si mesmo, o compositor procura a sua matéria prima no ambiente que o rodeia. Parece-me provável, assim, que as ideias que Varèse tinha quando começou a trabalhar no *Poème* fossem de natureza muito geral: ele não teria um modelo sonoro concreto ainda formado, mas por isso mesmo estava receptivo a experimentar e ir progressivamente criando, com base nessa experimentação, um modelo sonoro a concretizar. Esta hipótese é coerente com a importância que, como vimos no cap.5, o compositor concedia à experimentação nos seus projectos de estúdios electroacústicos.

Isto não anula a possibilidade de Varèse formular hipóteses prévias em relação ao que pretendia experimentar, e de imaginar auditivamente o resultado final. Já formulei aliás esta hipótese no cap.5. Varèse frequentemente racionalizava, em termos de acústica, os efeitos que procurava na sua música instrumental. Barraud (1968: 153) relata tê-lo ouvido, em 1933, explicar *Amériques*, página a página, a partir da partitura:

Ces commentaires avaient ceci de surprenant (...) qu'ils semblaient ceux d'un ingénieur acousticien beaucoup plus que d'un compositeur. Varèse expliquait toute son œuvre comme une suite de phénomènes sonores qu'il décomposait pour nous en analysant les interférences provoquées par tels rapprochements de timbres, telles agglomérations de sons, en calculant les fréquences élevées qu'ajoutait à l'ensemble l'intervention de tel ou tel instrument, de telle cymbale, et ainsi de suite. [Os seus comentários tinham isto de surpreendente (...) que se assemelhavam aos de um engenheiro acústico muito mais que de um compositor. Varèse explicava toda a sua obra como uma série de fenómenos sonoros que ele decompunha para nós analisando as interferências provocadas por tais aproximações de timbre, tais aglomerações de sons, calculando as frequências elevadas que acrescentava ao conjunto a intervenção de tal ou tal instrumento, de um determinado prato, e por aí adiante.]

O uso do eco para adensar um glissando através de sons diferenciais (cf.7.2.2) é uma forma de Varèse transpor o raciocínio ao nível de interferências entre componentes do som para um recurso novo agora disponível, a reverberação artificial.

Ao nível da espacialização, segundo Tak (1958/59: 43), «Varèse concentrated primarily on the character of the tonal pattern, and for the most part left us to decide the 'intonation' (the distribution of sound over the loudspeakers, i.e., the spatial effect)» [Varèse concentrou-se principalmente no carácter do padrão sonoro, e na maior parte deixou para nós decidirmos a 'intonação' (a distribuição do som pelos altifalantes, i.e., o efeito espacial)]. Como conciliar o facto de o compositor deixar aos técnicos da Philips a «maior parte» da espacialização com a importância que ele, desde *Octandre*, concedia ao elemento espacial?

Uma hipótese a considerar é que o relevante para Varèse fosse a *existência* de uma projecção espacial e não tanto a *forma específica* dessa espacialização. Por outro lado, pode haver um exagero na afirmação de Tak. Segundo Tazelaar (2004c), o artigo de Tak é anterior à conclusão do Poème, e a espacialização foi realizada (ou pelo menos depurada) tardiamente. Numa carta a Odile Vivier, de Fevereiro de 1958, Varèse, depois de relatar uma visita ao pavilhão com os Philips, Le Corbusier e Xenakis, escreve:

(...) Je pense que vers la mi-mars nous commencerons expériences pour la mise au point de la distribution spatiale de ma partition. (...) Le problème électronique est bien plus complexe qu'on en pense, ou qu'en ont conscience Paris, Cologne, et autres colonies plus ou moins 'concrètes'. [Creio que por meados de Março começaremos as experiências para depurar a distribuição espacial da minha partitura. (...) O problema electrónico é bem mais complexo do que o que se pensa, ou da consciência que dele têm Paris, Colónia e outras colónias mais ou menos 'concretas'.] (Vivier 1973: 165).<sup>100</sup>

Por um lado, este texto mostra que a experiência do trabalho no Poème estava a ser, para Varèse, importante como tomada de consciência para novos problemas e novas questões: o contacto e a experimentação com novos materiais e métodos, independentemente de ser um meio para a materialização de ideias anteriores, estava a ser um estímulo para novas ideias, para descobrir a inteligência que poderia haver nos novos sons – independentemente de, no *Poème* ou mais tarde, o compositor vir a transformar tudo isto em resultados sonoros acabados.

### 7.2.3.1. Metalinguagem

Tak (1958/59: 43) agradece a Bruyn «for solving many of these difficulties» [por resolver muitas destas dificuldades] envolvidas na realização da «extraordinary wealth of sounds» [extraordinária riqueza de sons] que caracterizava o *Poème*. Tais dificuldades tinham a ver com a inexistência de uma metalinguagem para descrever os sons imaginados por Varèse. Note-se que o que Varèse sempre pretendia era obter sons nunca antes ouvidos, o que torna ainda mais difícil a criação de uma tal metalinguagem que fosse compreensível aos técnicos.

Como explica Tak (*ibid.*), a solução encontrada foi o uso de onomatopéias:

The deficiency of language in this field, the lack of words to express what is intended, was keenly felt. Varèse frequently indicated his wishes by such expressions as ‘more nasal’, ‘less biting’, ‘more rasping’, and it was our job to meet his wishes by such expressions as well as possible by means of filters, mixers and frequency-shifting circuits. To define the necessary operations we had to resort repeatedly to onomatopœic words, such as ‘wow wow’, ‘poowhip’, ‘tick tock’, ‘whoop’ and ‘choochah’. [A deficiência da linguagem neste campo, a falta de palavras para expressar o que se pretendia, fez-se sentir fortemente. Varèse frequentemente indicava os seus desejos por expressões tais como ‘mais nasal’, ‘com menos mordente’, ‘mais áspero’, e era o nosso trabalho ir ao encontro dos seus desejos assim expressos o melhor possível através de filtros, misturadores e circuitos para alterar frequências. Para definir as operações necessárias tínhamos que recorrer repetidamente a onomatopéias, como ‘wow wow’, ‘poowhip’, ‘tick tock’, ‘whoop’ e ‘choochah’.]

### 7.2.3.2. Partituras e Esboços

Badings fez o seu *Abel en Cain* com base numa partitura praticamente tradicional. Varèse, ao compor o *Poème*, andava sempre com uma partitura no bolso, na qual estava constantemente a fazer mudanças (Tazelaar 2004c). O que resta desta partitura são algumas folhas soltas (Treib 1996: 194-191; 198-201), cujos esboços não são relacionáveis directamente com qualquer parte específica do produto sonoro final. Trata-se pois de uma partitura de trabalho, mas que nos informa sobre a natureza da experimentação empreendida por Varèse.

Na fig. 7.20 vemos gráficos de altura vs. tempo, associados a simbologia rítmica e dinâmica tradicional, tudo isto em oito camadas sobrepostas. Corresponderão estas 8 pistas a uma intenção inicial de aproveitar o gravador de 8 pistas (cf.6.3) que Bruyn e Badings tinham considerado inutilizável? Há ainda referências a recursos ou técnicas específicas – «pure sine wave generator 200-2000 c/s», «pulses of a sawing machine», «distorsed sine wave filtered 20-200 c/s» – e

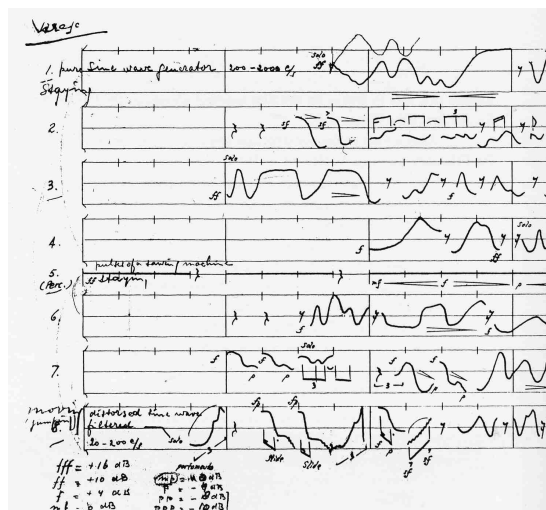


Fig. 7.20 – Excerto de uma das folhas que sobreviveram da partitura de trabalho do *Poème* (Treib 1996: 198).

equivalências entre níveis dinâmicos e intensidades relativas. O que se me afigura aqui mais notável, pelo que nos permite vislumbrar do modo de pensar e de operar de Varèse, é a utilização de um método puramente gráfico de notar a altura, eliminando as descontinuidades da pauta tradicional.

#### 7.2.4. Alguns Aspectos Sonoros

Referi já como Varèse aproveitou as possibilidades de usar ou suprimir totalmente a reverberação e os ecos. Um outro aspecto que se evidencia se analisarmos em pormenor o resultado sonoro do *Poème* é a quantidade de sons em que há indícios do uso da filtragem como processo de manipulação. A obra começa, aliás, com um som de gong ou sino repetido 6 vezes, sujeito a diferentes filtrações.

Os sons base utilizados são de natureza diversa: instrumentos de percussão, tocando sequências em tempo real (256,150s) ou em sons isolados que são usados em colagem (206,329s); pancadas simuladas, constituídas por um número reduzido de ciclos de som sinusoidal, demasiado breves para produzirem uma sensação precisa de altura (27,218s); sons prolongados gerados electronicamente (sinusoidais, periódicos complexos ou ruído branco) e cujas amplitudes são moduladas, criando envolventes variadas (189,752s); por vezes, esses sons prolongados têm uma altura fixa e organizam-se em grupos que vão, por acumulação, construindo agregados harmónicos não tradicionais (162,981) ou criando sons diferenciais (70,827s); outras vezes os sons sinusoidais (eventualmente com alguma distorção) prolongam-se variando de altura, e descrevendo curvas («parábolas») comparáveis aos efeitos das sirenes de *Amériques* e *Ionisation* (21,505s, 86,968s, 143,730s, 460,684s).

Em 340,739s sons sinusoidais longos vão-se acumulando para transformar um espectro periódico simples num espectro tipo sino, com parciais não harmónicos. Esta transformação sugere o processo inicial de *Partiels*, de Risset, em que a estrutura espectral de uma nota de trombone serve de ponto de partida para a estrutura melódica subsequente. Note-se que o elemento de partida do *Poème* é um som de sino/gong, submetido a 6 filtrações diferentes (realçando, ainda que no limiar do perceptível, diferentes parciais).

Para além de sons de piano e de órgão, usa vozes, em contexto coral ou a solo, declamadas ou cantadas, manipuladas ao nível da velocidade. Dois pontos salientes na obra pelo seu dramatismo são o início da primeira intervenção vocal («Oh god», 219,651s), declamada, e o vocalizo em voz feminina (404,997s) que no final é transposto artificialmente



até uma fundamental de 1.493 Hz (fá#<sub>6</sub> alto), uma nota que é possível de emitir por um soprano de coloratura, mas nunca com este timbre. Algumas transposições para o extremo grave (presumo que obtidas baixando com a mão a velocidade da bobina) em 288,253s ou uma manipulação que torna ambígua uma voz (feminina ou masculina) em 255,908s vão no sentido de explorar continuamente os potenciais timbres vocais, até ao limite do reconhecível, sem a limitação das descontinuidades existentes na natureza.

Ao analisar a matéria sonora do *Poème* constatei a ubiquidade de sequências ascendentes de três sons muito próximos a nível de altura. O uso de motivos com estas características não é raro em Varèse: em *Arcana* ouve-se desde o início uma sequência ascendente ½ tom - 1 tom, que se transforma numa espécie de ostinato. No *Poème Electronique* aparece em 56,250s e em 93,819s, legato, começando em fá#<sub>3</sub> e com intervalos de cerca de 70¢ (entre ¼ tom e ½ tom) 118¢ (½ tom largo). Em 90,991s é usado uma 11ª acima, em sons muito curtos (duração de 60 a 67 ms) em sequência rápida (4-5 notas por segundo), tornando mais discreta a sua característica melódica.

### **7.3.Reavaliando o Significado do Pavilhão Philips e do *Poème Electronique***

Encarado como instrumento musical, o *Pavilhão Philips* era versátil, ainda que idiossincrático. As possibilidades de espacialização, para além de limitadas pelas capacidades técnicas e pela complexidade do sistema de roteamento dos altifalantes, eram específicas da geometria das RS e dos LG, não permitindo uma manipulação tão simples e genérica como a de um sistema de quatro pistas no plano horizontal, mas facultando a possibilidade de produzir movimentos verticais do som, de criar facilmente percursos curvos, de acentuar sensações espaciais através do efeito Doppler. A neutralidade acústica permitia o controlo artificial da reverberação desejada, alterando-a subitamente. A integração total entre os dispositivos radiadores do instrumento (os altifalantes) e o espaço arquitectural permitia uma previsibilidade elevada do resultado sonoro, inclusive a nível de percepções espaciais. A gama

de sons produzíveis dependia exclusivamente do que fosse colocado na fita magnética, sendo por isso quase ilimitada.

*Quase* ilimitada, mas mesmo assim com limites: *Atmosphères*, a terceira obra que Ligeti começou a realizar no estúdio de Köln no fim da década de 1950, ficou inacabada<sup>101</sup> por exigir a sobreposição de um número tão elevado de camadas que o ruído de fundo e as flutuações de velocidade dos equipamentos a tornavam irrealizável na altura (Griffiths 1983: 25).

## 8.CONCLUSÃO

Em *Silence* (1966: 84) Cage escreve sobre Varèse:

Rather than dealing with sounds as sounds, he deals with them as Varèse. [...] While others were still discriminating ‘musical’ tones from noises, Varèse moved into the field of sound itself, not splitting it in two by introducing the perception of his mental prejudice. [Em vez de lidar com os sons como sons ele lida com eles como Varèse. (...) Enquanto outros ainda só discriminavam sons ‘musicais’ de ruído, Varèse mergulhava no campo do próprio som, sem o dividir em dois ao introduzir a percepção do seu preconceito mental.]

O determinismo que Cage atribui a Varèse é antitético em relação ao indeterminismo deliberado do próprio Cage. É minha convicção que no caso do *Poème Electronique*, a antítese é mais aparente que real, dado que:

- 1.A visão que Varèse tem de obra de arte é multidisciplinar (de *Gesamtkunstwerk*, eventualmente): veja-se o projecto de um filme baseado em *Déserts* (cap.5).
- 2.O modelo de multidisciplinaridade que Varèse defende não se baseia numa sincronização redundante de dimensões plásticas simultâneas, mas pelo contrário, dentro do modelo que Bertolt Brecht<sup>102</sup> designou como *epische Oper* [ópera épica], em que as várias dimensões artísticas (texto, luzes, música, no caso especificamente sugerido por Brecht) devem ser independentes a fim de evitar um envolvimento emocional excessivo por parte do espectador, criando o distanciamento entre espectador e obra necessários a uma apreciação consciente, não alienante.
- 3.No *Poème Electronique* é evitada deliberadamente a coordenação entre as partes visual e sonora, com excepção da duração total de 480 segundos exactos. Um silêncio que Le Corbusier pede a Varèse perto do meio da obra, para realçar

uma luz branca, não é realizado pelo compositor, que diz ao arquitecto não ter podido realizá-lo, sendo precisamente o momento em que «há mais ruído» na obra (Vivier 1973: 162).

4. Apesar da importância concebida por Varèse à projecção espacial do som (cf. 1.2), o compositor terá deixado aos técnicos da Philips parte da distribuição específica das suas três pistas de som pelas *routes du son* e pelos grupos de altifalantes. Referi já (cf. 7.3) a hipótese de Varèse considerar mais importante a existência de espacialização do que a natureza exacta dessa espacialização.

À primeira vista, esta explicação entra em contradição com o rigor com que Varèse procura recursos específicos. Vimos porém no cap. 5 que nas suas propostas é sempre feita a referência à necessidade de experimentar. Será que as obras de Varèse são meras experiências? Ele próprio o nega quando afirma que a sua música não é experimental, que quando ele a faz «entrega o produto completo». Mas o processo até lá chegar é longo e moroso, pois para ele existe uma ideia sonora que tem de ser atingida, e isso pode levar tempo.

Coloca-se por vezes a hipótese de Varèse não dominar as tecnologias de ponta que estavam disponíveis no NatLab. Verificamos porém que ele esteve constantemente atento às novas tecnológicas: a electrónica no início da década de 1920 (quando sistemas de *public adress* e a rádio mostravam ao grande público os progressos que durante a I Guerra Mundial eram apanágio dos militares), a gravação óptica, instrumentos como o *dynaphone* e o *theremin* conquistaram a sua atenção poucos anos após o seu aparecimento. A especificidade das suas propostas para laboratórios e da conversa relatada por Odile Vivier (cf. cap. 5), bem como o empenho em obter acesso aos *Bell Labs* – onde, como vimos no cap. 2, se desenvolveram na década de 1930 experiências que se traduziram em progressos extraordinários na qualidade de registo e reprodução de sons – sugerem uma consciência muito clara do que pretendia.

Nalguns aspectos, as condições em que se realizou o trabalho no NatLab poderão ter sido limitativas. Para além de alguma hostilidade e incompreensão por parte da Philips e dos seus engenheiros (cf. 7.2.3), a inexistência de uma metalinguagem que permitisse um contacto mais fácil entre o compositor e os técnicos foi um obstáculo contornado pelo uso de onomatopeias (cf. 7.2.3.1). Além disso, Varèse realizou vários esboços sob a forma de gráficos (cf. 7.2.3.2), mas parece não ter existido uma partitura final de realização.

Num sentido, penso que as limitações do NatLab podem ter condicionado a materialização do *Poème Electronique*: a disponibilidade apenas de gravadores de uma pista, excepto para a montagem final, e a limitação do produto final a três pistas terão, a meu ver, conduzido a uma exploração essencialmente contrapontística, em que as densidades elevadas obtidas p. ex. no final são obtidas mais graças à densidade dos próprios sons de cada pista do que à densidade do contraponto. O NatLab não seria certamente o lugar indicado para o desenvolvimento de micropolifonias de tipo ligetiano, e mesmo em comparação com outras obras de Varèse (ocorre-me *Arcana* mas – excepção feita a *Density 21,5* – praticamente qualquer outra obra serviria de exemplo), sente-se no *Poème Electronique* uma certa rarefação, que atribuo à limitação a três pistas.

A observação que realizei dos materiais e recursos sonoros usados (7.2.4) leva-me a concluir que Varèse se preocupou em explorar o *continuum* de recursos em vários planos: elementos rítmicos, ou melódico-rítmicos, aparecem com timbres, durações, velocidades ou texturas que tornam a apreensão das suas características próprias ora clara, ora obscura, ora impossível sem o recurso a equipamento laboratorial. É este, a meu ver, o maior factor de coerência na obra – coerência no interior de toda a própria obra, coerência com os ideais que caracterizaram toda a existência terrena de Varèse.

Busoni (1916: 2) escrevera: «Die Musik als Kunst, die sogenannte abendländische Musik, ist kaum vierhundert Jahre alt, sie lebt im Zustande der Entwicklung. [...] So jung ist es, dieses Kind, ein strahlende Eigenschaft ist an ihm schon erkennbar.» [A música como arte, a chamada música ocidental, mal completou quatrocentos anos, ela vive em estado de desenvolvimento. (...) Tão jovem é esta criança e já nela se reconhece uma individualidade refulgente.] Mais de meio século depois, Varèse (1962b: 208) parece retomar esta ideia, ao mesmo tempo que reconhece as limitações dos dispositivos electrónicos de então, mas também que a união entre a arte e a ciência, entre o músico e o cientista ou técnico, se está finalmente a materializar:

[...] Considering the fact that our electronic devices were never meant for making music, but for the sole purpose of measuring and analyzing sound, it is remarkable that what has already been achieved is musically valid. These devices are still somewhat unwieldy and time consuming, and not entirely satisfactory as an art-medium. But this new art is still in its infancy, and I hope and firmly believe, now

that composers and physicists are at last working together and music is again linked with science as it was in the Middle Ages, that new and more musically efficient devices will be invented. [...] Considerando que os nossos dispositivos electrónicos nunca foram projectados com a intenção de fazer música, mas para o fim único de medir e analisar som, é notável que o que já foi conseguido seja musicalmente válido. Estes dispositivos são ainda desajeitados e fazem-nos perder tempo, e não são ainda inteiramente satisfatórios como um meio artístico. Mas esta arte encontra-se ainda na sua infância, e eu espero e acredito firmemente, agora que os compositores e físicos estão finalmente a trabalhar juntos e a música se encontra de novo ligada à ciência como estava na Idade Média, que sejam inventados dispositivos novos e mais eficientes musicalmente].

Ao longo da sua vida Varèse criou um modelo utopiano não muito diferente das «casas de som» de Bacon. Os recursos para a sua materialização estavam na sua infância durante as primeiras décadas do séc.XX. Na década de 1930 eles atingiam a sua maturidade, mas estavam circunscritos a grupos restritos (os *Bell Labs*, a indústria cinematográfica) e eram pouco manejáveis. Foi na década de 1950 que as tecnologias úteis aos objectivos de Varèse se difundiram: se o *Poème Electronique* fosse concebido dez ou vinte anos antes as possibilidades de espacialização, a qualidade dos altifalantes, a fiabilidade dos próprios circuitos de roteamento tornariam utópico (no sentido mais prosaico do termo) um projecto desta envergadura.

## BIBLIOGRAFIA

Quando não existe objectivamente um autor ou autores foi criado um nome de referência, que é colocado entre parêntesis recto. No caso de textos que foram acedidos em formato html aparece por vezes no final da referência bibliográfica, entre parêntesis recto, o número total de páginas que obtive ao imprimir o documento. Nestes casos as referências a número de página ao longo da dissertação devem ser entendidas como relativas, por comparação com o total referido. Para além de obras citadas ou referidas, incluo todas aquelas que de algum modo foram relevantes para a definição das ideias que apresento.

### **AAVV**

1968 *Reference Data for Radio Engineers*. 6ª edição. Indianapolis (Indiana): Howard W. Sams.

### **[Ampex]**

2003 *Chronology of Ampex Products*.  
<http://recordist.com/ampex/docs/histapx/ampchrn.txt>. Criado: 05/03/2001;  
Actualizado: 14/01/2003; Acedido: 11/01/2004.

### **Argan, Giulio Carlo, e Maurizio Fagiolo**

1994 *Guia de História da Arte*. («Teoria da Arte», 8). Lisboa: Editorial Estampa.

### **Austin, Kevin**

1999 Capturing, Crystalizing and Fragmenting : An Introduction to Sonic Arts  
(«Electroacoustics reading for FFAR 250»). [University of Concordia, Canada  
– Faculty of Fine arts?]  
[http://music.concordia.ca/FFAR\\_Reading\\_Ea.html#anchor1993672](http://music.concordia.ca/FFAR_Reading_Ea.html#anchor1993672)  
Acedido: 20/10/2002.

### **Austin, William W.**

1966 *Music in the 20<sup>th</sup> Century: From Debussy Through Stravinsky*. New York (NY): W. W. Norton & Company.

### **Backus, John**

1977 *The Acoustical Foundations of Music*. 2ª edição. New York. Norton.

**Bacon, Francis**

1626 *The New Atlantis*. Texto transcrito em <http://www.w3.org/TR/REC-html40/baconfrancisthenewatlantis.htm>. Criado 08/1993. Acedido: 12/09/2003. [14 p.]

**Badings, Henk, e J. W. de Bruyn**

1957/58 «Electronic Music». *Philips Technical Review*, vol.19, nº 6, pp.191-201.

**Barraud, Henry**

1968 *Pour Comprendre les Musiques d'Aujourud'hui*. Paris: Seuil.

**Bennet, Gerald**

1990 «Notes on Electroacoustic Music». [Publ. originalmente em francês em *Contrechamps*, Outono 1990.] <http://www.computermusic.ch/files/articles/Notes%20on%20EM.html>. Acedido: 20/10/2002.

**Beranek, Leo**

1990 *Acoustics*. [Edição original: Acoustic Laboratory, Massachussets Institue of Technology; Bolt, Beranek and Newman, 1954]. New York: American Institute of Physics; Acoustical Society of America.

1996 *Leo Beranek, Electrical Engineer, an oral history conducted in 1996 by Janet Abbate*. («Oral Histories»). New Brunswick (NJ): IEEE History Center, Rutgers University. [21 p.]

**Bianchini, Laura**

s/d [Presenazione dalla Ricostruzione del "Poème Electronique" di Varèse - Le Corbusier], in *CRM News*.

**[Bigbriar]**

2003 «History of the Theremin». [http://www.bigbriar.com/history.php?cat\\_id=2](http://www.bigbriar.com/history.php?cat_id=2). Acedido: 03/04/2004.

**Blades, James**

1992 *Percussion Instruments and their History*. Edição revista. Westport (Conn.): The Bold Strummer.

**Bosseur, Dominique, e Bosseur, Jean-Yves**

1990 *Revoluções Musicais: A Música Contemporânea depois de 1945*. («Caminho da Música», 7). Lisboa: Caminho.

**Boulez, Pierre**

1995 *Apontamentos de Aprendiz*. São Paulo (SP): Editora Perspectiva.

**Brug, James, et al.**

1999 «Magnetic Recording Heads». In Webster 1999: vol.12, 74-91.



**Bruin, S. L. De**

1958/59 «The Sound Effects». *Philips Technical Review*, vol. 20, nº 2/3, pp.45-49.

**Büning, Eleonore**

2000 «Tempo und Terror: Die Skandale der Maschinenmusiker». *Neue Zeitschrift für Musik*, Leseprobe 3/00.

**Busby, E. Stanley**

2001 «Analog Recording Formats». In Jerry Whitaker e Blair Benson (eds. lits.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering*. S.l.: McGraw Hill.  
<http://www.tvhandbook.com/support/>. Acedido 31/12/2003.

**Busoni, Ferruccio**

1916 *Entwurf einer neuen Ästhetik der Tonkunst*. ??: Insel Verlag. Reproduzido em *Karsten Koch Homepage: Resources: Essays about Music*.  
<http://www.aufgang.org/koch/homepage/resources/busoni1.asp>. Actualizado: 01/2003; acedido: 11/03/2003.

**Cage, John**

1966 *Silence*. Cambridge (Mass.): MIT Press.

**Campana, Alessandra**

2001 «Iannis Xenakis: Architetto dei luci e dei suoni», *Nexus Network Journal*, vol. 3, no. 2 (Spring 2001), <http://www.nexusjournal.com/Capanna-it.html>. Criação: 16/04/2001. Acedido: 15/07/2002.

**Carvalho, Mário Vieira de**

[1993] *Pensar é Morrer, ou O Teatro de São Carlos na mudança de sistemas sociocomunicativos desde fins do séc.XVIII até aos nossos dias*. («Temas Portugueses»). S. l.: Imprensa Nacional – Casa da Moeda.

**Casali, Valerio**

s/d «Dalla presentazione del progetto di ricostruzione del “Poème Electronique”», in *CRM News*.

**[Caxton]**

1986 «Asbestos», in *The New Caxton Encyclopaedia*. London: Caxton & English Educational Programmes International Limited. Vol.2, p.69.

**Chadabe, Joel**

1997 *Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music*. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall.  
2000 «The Electronic Century Tales of the Tape». In *Electronic Musician*, 01/03/2000.  
[http://emusician.com/ar/emusic\\_electronic\\_century\\_tales](http://emusician.com/ar/emusic_electronic_century_tales). Acedido: 26/11/2003.

**Charbonnier, Georges**

1970 *Entretiens avec Edgard Varèse: suivis d'une étude de son œuvre par Harry Halbreich*. Paris: Éditions Pierre Belfond.

**Chailly, Riccardo**

1998 *Varèse: The Complete Works*. [CD duplo]. London: Decca. 460 208-2.

**Chion, M., e G. Reibel**

1976 *Les Musiques Electroacoustiques*. Aix-en-Provence: Edisud.

**Cole, A. B.**

1916 «Practical Pointers on the Audion». *QST*, Março 1916, pp. 41-44. In <http://earlyradiohistory.us/audi1916.htm#noone>. Acedido: 07/04/2004.

**Cope, David**

1993 *New Directions in Music*. 6ª edição. Madison (Wisconsin): Brown & Benchmark.

**Coughlin, Thomas M., e David H. Davies**

1999 «Magnetic Tape Equipment». In Webster 1999: 191-202.

**[Cursor]**

2000 «Opgeknapt Poème électronique monument voor technische innovatie», in *Cursor – weekblad van de technische universiteit eindhoven*, 39, ano 42 (22/06/2000). <http://www.tue.nl/cursor/bastiaan/jaargang42/cursor39/cultuur.shtml>

**[Crm]**

s/d [CRM News]. Roma: Centro di Ricerche Musicali.

**Davies, Hugh**

- 1984a «Audion piano». In *Sadie 1984: i*, 84.
- 1984b «Clavecin électrique». In *Sadie 1984: i*, 414-415.
- 1984c «Dynaphone». In *Sadie 1984: i*, 640.
- 1984d «Givelet, (Joseph) Armand (M. V. de P.)». In *Sadie 1984: ii*, 51.
- 1984e «Ondioline». In *Sadie 1984: ii*, 818.
- 1984f «Ondium Pécharde». In *Sadie 1984: ii*, 818.
- 2001 «Electronic instruments», in *Sadie 2001: viii*, 67-106.
- 2001a «Bode, Harald», in *Sadie 2001: iii*, 770.
- 2001b «Varèse, Edgard», in *Sadie 2001: xxvi*, 273-280.

**Driscoll, Roger**

1980 *Practical Hi-Fi Sound: A Guide to Perfect Listening in the Home*. London: Hamlyn.

**Dunn, David**

s.d. *A History of Electronic Music.*

[www.artscilab.org/dunn\\_fixed/writings/pioneers.pdf](http://www.artscilab.org/dunn_fixed/writings/pioneers.pdf). Acedido: 27/03/2004.

**[Electrical Review]**

1919 «Speeches Through Radiotelephone Inspire New York Crowds: Spectacular Demonstration of Radiotelephony During the Victory Loan Drive--Speeches Delivered from Airplanes--Features of Equipment Used». *Electrical Review*, 31/05/1919, pp. 895-896. In <http://earlyradiohistory.us/1919vic.htm>. Acedido: 07/04/2004.

**Emmerson, Simon.**

1986 *The language of electroacoustic music*. London: MacMillan.

2000 *Music, electronic media and culture*. Aldershot: Ashgate.

**Fei, James**

2000 *Masterpiece's of 20th-Century Multi-channel Tape Music: Varese.*

<http://www.music.columbia.edu/masterpieces/notes/varese/index.html>.

Acesso:15/07/2002.

in *Masterpieces of 20th-Century Electronic Music: A Multimedia Perspective.*

Created Tue May 23 18:56:52 GMT-0400 2000. Curated by the Columbia

Computer Music Center, presented by Lincoln Center

**Fineberg, Joshua (ed. lit.)**

2000 «Spectral Music: History and Techniques». *Contemporary Music Review*, vol.19, 2ª parte.

**Forest, Lee De**

1907 «The Audion: A New Receiver for Wireless Telegraphy». In *Scientific American*, Suplementos nº 1665, 30/11/1907, pp. 348-350, e 1666, 07/12/1907, pp. 354-356.

In <http://earlyradiohistory.us/audi1907.htm>. Acedido: 07/04/2004.

**Gao, Chuan, Brian W. Robertson e Z. S. Shan**

1999 «Magnetic Storage Media». In Webster 1999: vol.12, 148-172.

**Greene, Stephen**

1991 «Who Said Lee The Forest was the 'Father of Radio'?». In *Mass Comm Review*, Fev.1991. In <http://www.geocities.com/lyon95065/Radio.html>. Acedido:

07/04/2004.

**Griffiths, Paul**

1983 *György Ligeti*. («The Contemporary Composers»). London: Robson Books.

1995 *Modern Music and After: Directions since 1945*. Oxford: Oxford University Press.

**Hagedorn, Jacob**

s/d *New Instruments: Edgard Varèse and the Poème électronique.*  
<http://www.gac.edu/~jhagedor/Varese.html>. Acedido em 30/06/2002.

**Hall, Donald E.**

1980 *Musical Acoustics: An Introduction*. Belmont (CA): Wadsworth.

**Hardy, Walter**

1962 «A Matter of Fourty Years». In *R. G. T. Monitor*, vol.3, nº3 (Junho 1962), pp.64-65.

**Hassall, J. R. e K. Zaverie**

1979 *Acoustic Noise Measurements*. 4ª edição. Nærum: Brüel & Kjær.

**Heifetz, Robin Julian**

1989 *On the wires of our nerves : the art of electroacoustic music*. Cranbury (NJ) : Associated University Presses.

**Henney, Keith (ed. lit.)**

1959 *Radio Engineering Handbook*. 5ª edição. New York: McGraw-Hill.

**Henrique, Luís**

2002 *Acústica Musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

**Heuser, David**

1998 *Edgard Varèse: Poème Électronique (1958)*.  
<http://music.utsa.edu/electron/varese.htm>. Revisto: Junho 1999. Acedido: 30/06/2002.

**Holmes, Thom**

2002 *Electronic and Experimental Music*. 2ª edição. New York: Routledge.

**Hugonnet, Christian, e Walder**

1995 *Théorie et Pratique de la Prise de Son Stéréophonique*. Paris: Eyrolles.

**Hull, M. D.**

1980 *Building Hi-Fi Speaker Systems*. 7ª Edição. Eindhoven: N. V. Philips' Gloeilampenfabriken, Marketing Communications Electronic Components and Materials Division.

**Hunt, Frederick V.**

1982 *Electroacoustics: The Analysis of Transduction, and its Historical Background*. 2ª Reimpressão. [Testo publicado originalmente em 1954]. S.l., American Institute of Physics; Acoustical Society of America.

**[Ircam]**

- 1997 *Edgard Varèse: Poème électronique*. Médiathèque de l'Ircam.  
[http://mac-texier.ircam.fr/textes/c00000106/n00002707/Edgard Varèse : Poème électronique - Médiathèque de l'Ircam © Ircam, 2002.htm](http://mac-texier.ircam.fr/textes/c00000106/n00002707/Edgard_Varèse:_Poème_électronique_-_Médiathèque_de_l'Ircam_©_Ircam,_2002.htm)  
Modificado: 24/03/2002; acedido: 02/08/2002.

**Jenkins, John, e Jon Smith**

- 1975 *Electric Music: A Practical Manual for Musicians*. Newton Abbot: David & Charles.

**Kandinsky, Vassily Vassilievich**

- 1999 *Do Espiritual na Arte*. 4ª edição. [Texto originalmente escrito em 1910-12]. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

**Keller, Arthur C.**

- 1973 *Arthur C. Keller, Electrical Engineer, an oral history conducted in 1973 by Julian Tebo*. («Oral Histories»). New Brunswick (NJ): IEEE History Center, Rutgers University. [8 p.]  
[http://www.ieee.org/organizations/history\\_center/oral\\_histories/transcripts/keller6.html](http://www.ieee.org/organizations/history_center/oral_histories/transcripts/keller6.html)  
Modificado: 21/07/2000; acedido: 31/12/2003.

**Knudsen, Vern O., e Cyril M. Harris**

- 1988 *Acoustical Designing in Architecture*. 5ª Reimpressão. [Texto originalmente publicado em 1950, revisto em 1978 por Harris]. S.l.: American Institute of Physics; Acoustical Society of America.

**Koning, S. H. de**

- 1983/84 «The MCR System – Multiple-channel Amplification of Reverberation». *Philips Technical Review*, vol. 41 (1983/84, nº1), pp.12-23.

**Larimer, Cindy**

- 2001 *University of Maryland (College Park, MD.). Libraries. Architecture Library. World's Fair, exhibition, exposition, ephemera. Online exhibition of graphic and ephemeral materials from the World's Fair Collection located in the Special Collections Room of the Architecture Library at the University of Maryland*.  
<http://www.lib.umd.edu/ARCH/honr219f/1958brus.html>

**Lewis, Steven**

- s/d *John (Jack) T. Mullin (1913-99) Recalls the American Development of the Tape Recorder*.  
<http://www.kcmetro.cc.mo.us/pennvalley/biology/lewis/crosby/mullin.htm>.  
Acedido: 11/01/2004.

**Lichty, Patrick**

s/d *Dead medium: Camras's Wire Recorder.*  
<http://www.deadmedia.org/notes/25/253.html>. Acedido: 27/12/2002.

**Luening, Otto**

1964 «Some Random Remarks About Electronic Music». In Schwartz e Childs 1998: 252-260.

**MacDonald, Malcolm**

2003 *Varèse, Astronomer in Sound*. London: Kahn & Averill.

**Mâche, Francois-Bernard (ed. lit.)**

2001 *Portrait(s) de Iannis Xenakis*. S.l.: Bibliothèque Nationale de France.

**Maconie, Robin**

1976 *The Works of Stockhausen*. London: Marion Boyars.

**Manion, Michael**

s/d *From Tape Loops To MIDI - Stockhausen's 40 Years Of Electronic Music..*  
[http://www.stockhausen.org/tape\\_loops.html](http://www.stockhausen.org/tape_loops.html)  
Acedido: 24/07/2002.

**Manning, Peter**

1993 *Electronic and Computer Music*. 2ª ed. Oxford: Clarendon Press.

**Matossian, Nouritza**

1981 *Iannis Xenakis*. S.l.: Fayard / SACEM.

**Maxfield, Joseph**

1973 *Joseph Maxfield, Electrical Engineer, an oral history conducted in 1973 by Frank Polkinghorn*. («Oral Histories»). New Brunswick (NJ): IEEE History Center, Rutgers University. [6 p.]  
[http://www.ieee.org/organizations/history\\_center/oral\\_histories/transcripts/maxfield7.html](http://www.ieee.org/organizations/history_center/oral_histories/transcripts/maxfield7.html). Actualizado: 21/07/2000. Acedido: 06/01/2004.

**Mello, João Alvaro de Barros**

2000 «A História da Philips». In *Rádios Antigos no Brasil*.  
<http://www.bn.com.br/radios-antigos/philips.htm>. Acedido: 08/02/2003.

**Menezes, Flô (ed. lit.)**

1996 *Música Electroacústica: História e Estéticas*. São Paulo (SP): Editora da Universidade de São Paulo.

**Miller, Henry**

1971 «Com Edgar Varèse no Deserto de Gobi». In *Pesadelo em Ar Condicionado*. 2ª edição. («Novas Direcções»). Lisboa: Estampa

**Montagu, Jeremy**

1979 *The World of Baroque & Classical Musical Instruments*. Newton Abbot: David & Charles.

**Morgan, Robert P.**

1990 *Twentieth-century music: a history of musical style in modern Europe and America*. («The Norton introduction to music history») New York: W. W. Norton.

**Morton, David L.**

1999 *A History of Electronic Entertainment Since 1945*. New Brunswick: IEEE History Center et al. [Publicado em formato Acrobat].

[http://www.ieee.org/organizations/history\\_center/research\\_guides/entertainment/](http://www.ieee.org/organizations/history_center/research_guides/entertainment/).

Acedido: 27/12/2002.

s/d *Dead medium: The Philips-Miller Audio Recording System*.

<http://www.deadmedia.org/notes/29/299.html>. Acedido: 27/12/2002.

**Motta, Paulo**

1997 *Música Eletrônica/Eletrônica & Arquitetura*. Group of Sonic Arts.

<http://www.artnet.com.br/~pmotta/arquitet.htm>. Acedido: 30/06/2002. Atualizado: 30/06/2002.

**Naughton, Russel**

s/d *Adventures in Cybersound*. <http://www.acmi.net.au/AIC/>. Acedido: 20/10/2003.

**Newquist, H. P.**

1989 *Music & technology*. New York : Billboard Books.

**[Nfc]**

2001 «Norman McLaren». In *N[ational] F[ilm] B[oard of Canada]*.

[http://www.nfb.ca/c/highlights/norman\\_mclaren.html](http://www.nfb.ca/c/highlights/norman_mclaren.html). Atualizado: 20/09/2001;

Acedido: 16/03/2004.

**Nijsen, C. G.**

2000 «A Brief History of Philips Cinema». In *70mm: The 70mm Newsletter*, nº 62, Set.

2000. <http://www.in70mm.com/newsletter/2000/62/philips/philips.htm>. Acedido:

27/10/2002.

**[Nmm]**

2003 «The Charles D. Stein Collection of Early Electronic Instruments». In *National Music Museum*. Vermillion: The University of South Dakota.

<http://www.usd.edu/smm/stein.html#fbd>. Atualizado: 05/05/2003. Acedido:

27/04/2004.

### **Nyman, Michael**

- 1999 *Experimental Music: Cage and Beyond*. 2ª edição. («Music in the 20<sup>th</sup> Century»). Cambridge (UK): Cambridge University Press. [1ª edição: 1974].

### **[Obsolete]**

- 1998 *120 Years of Electronic Music*. [http://www.obsolete.com/120\\_years/](http://www.obsolete.com/120_years/). Actualizado: 02/1998. Acedido: 27/03/2004. [Foram usados os documentos seguintes, acessíveis a partir desta página:]
- 1998a «Choralcello Electric Organ (1888-1908)».
- 1998b «Homer Dudley's Speech Synthesisers, 'The Vocoder' (1940) & 'Voder' (1939)».
- 1998c «Lev Sergeivitch Termen & 'The Theremin' (1917)».
- 1998d «Milan Electronic Music Studio».
- 1998e «The Audion Piano (1915)».
- 1998f «The 'Clavier à Lampes' (1927), The 'Orgue des Ondes' (1929), The Givelet (1930)».
- 1998g «The Dynaphone (1927-28)».
- 1998h «The Electrophon, Sphärophon, Partiturophon and the Kaleidophon (1921-1930)».
- 1998i «The Free Music Machine (1948)».
- 1998j «The 'Intuonorumori' [sic] (1913), 'Rumorarmonio' (1922) & the 'Enharmonic Piano' (1931)».
- 1998k «The Ondes-Martenot (1928)».
- 1998l «The Ondium Péchadre (1930)».
- 1998m «The 'Theremin Cello (1930)».
- 1998n «The Sonorous Cross – 'La Croix Sonore' (1929-1934)».
- 1998o «Thaddeus Cahill – The Telharmonium
- 1998p «The Trautonium, Mixtur-Trautonium, Radio Trautonium and Concert-Trautonium (1930-)».
- 1998q «William Du Bois Duddell and the "Singing Arc"(1899).

### **Olson, Harry F.**

- 1967 *Music, Physics and Engineering*. 2ª edição. [Texto originalmente publicado em 1952, com o título *Musical Engineering*]. New York: Dover.
- 1975 *Harry F. Olson, Electrical Engineer, an oral history conducted in 1975 by Mark Heyer*. («Oral Histories»). New Brunswick (NJ): IEEE History Center, Rutgers University. [17 p.]
- [http://www.ieee.org/organizations/history\\_center/oral\\_histories/transcripts/olson26.html](http://www.ieee.org/organizations/history_center/oral_histories/transcripts/olson26.html). Actualizado: 22/04/2003. Acedido: 31/12/2003.

### **Orton, Richard**

- 1984a «Ondes martenot». In *Sadie 1984: ii*, 816-818.
- 1984b «Trautonium». In *Sadie 1984: iii*, 620-621.

### **Orton, Richard, e Hugh Davies**

- 1984 «Theremin». In *Sadie 1984: iii*, 575-576.



**Ouelette, Fernand**

1973 *Edgard Varèse*. [Texto publicado originalmente em 1966, em francês]. London: Calder & Boyars.

**Padilla, Antonio J. Gil**

1993 *Electrónica Analógica*. Lisboa: McGraw-Hill.

**Paraskevaídis, Graciela**

2004 «Edgard Varèse and His Relationships With Latin American Musicians and Intellectuals of His Time». In *Contemporary Music Review*, vol.23, nº2 («Edgard Varèse... New Worlds»), pp.3-17.

**P-Art Journal**

s/d «Philips Pavilion 58», in *P-Art Journal*/ 1.  
<http://users.skynet.be/P-ART/PARADISE/JOURNAL/JOURNAL1/journ1.htm>.  
Acedido: 30/06/2002.

**Peer, René van**

2000 «Electronisch klankgedicht van Varèse op gazon TUE». *Eindhovens Dagblad*, 26/10/2000. Edição online: <http://www.eindhovensdagblad.nl>. Acedido em 08/01/2003.

**Poirier, Gilles**

1975 *La Chaîne Stéréophonique*. Montréal: Les Éditions de l'Homme.

**Potgieter, Johan**

2000 «History Of Audio Development». In *Audio Video S[outh] A[ffrica]*.  
[http://www.avsa.co.za/misc/sept\\_audiodev1.html](http://www.avsa.co.za/misc/sept_audiodev1.html).  
[http://www.avsa.co.za/misc/sept\\_audiodev2.html](http://www.avsa.co.za/misc/sept_audiodev2.html).  
Acedido em 04/03/2004.

**Puente, Moisés**

2000 *Pabellones de Exposición / Pavilhões de Exposição: 100 Años / Anos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

**Raes, Godfried-Willem**

1997 «Dick Raaijmakers», in *Kursus Experimentele Muziek: Boekdeel 9: Literatuur en Aktualiteit*. Hogeschool Gent, Departement Muziek & Drama.  
<http://www.logosfoundation.org/kursus/9590.html>. Acedido: 11/01/2004. Criado: 28/09/1997.

**Raichel, Daniel R.**

2000 *The Science and Applications of Acoustics*. («Modern Acoustics and Signal Processing»). New York: Springer Verlag.

**Richard, Lionel**

2000 «Uma Identidade Contraditória». In Lionel Richard e Carlos Araújo (eds. lits.) – *Berlim, 1919-1933: Gigantismo, crise social e vanguarda: a extrema encarnação da modernidade*. Lisboa: Terramar. Pp.6-34.

**Richter, Hans Jürgen, e Ronald J. Veitch**

1999 «Magnetic Tape Recording». In Webster 1999: 202-226.

**Risset, Jean-Claude**

1999 «Évolution des Outils de Création Sonore». In Hughes Vinet e Francois Delalande (eds. lits.) – *Interfaces Homme-Machine et Création Musicale*. Paris: Hermès, 1999, pp.17-36. publicado em <http://www.educnet.education.fr/musique/actualite/concours/baccalaureat/bac2002/sud.htm>. Acedido: 27/03/2004.

**Roads, Curtis**

1996 *The Computer Music Tutorial*. 2ª Impressão. Cambridge (Mass.): The MIT Press.

**Roederer, Juan G.**

1995 *The Physics and Pscophysics of Music: An Introduction*. 3ª edição. New York: Springer Verlag.

**Rothman, Jake**

1996 «EPE Elysian Theremin with Midi Box, Part 1». *Everyday Practical Electronics*, vol. 25, nº 11 (11/1996), pp. 844-851.

**Rumsey, Francis**

2003 *Spatial Audio*. Reedição. («Music Technology Series»). Oxford: Focal Press.

**Sachs, Curt**

1940 *The History of Musical Instruments*. New York: Norton.

**Sadie, Stanley (ed. lit.)**

1984 *The New Grove Dictionary of Musical Instruments*. London, Macmillan.

2001 *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. London: Macmillan.

**Salzman, Eric**

1988 *Twentieth-Century Music: An Introduction*. 3ª ed. («History of Music Series»). Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall.

**Sanner, Howard**

1999 *Talk by Cyril Francis, Recording Engineer: Presented at the Washington, D.C., Association for Recorded Sound Collections chapter meeting. Mary Pickford Theatre, Library of Congress, October 23, 1996. Notes by Howard Sanner, revised March 18, 1997, to include Mr. Francis's corrections.*  
<http://www.aes.org/aeshc/docs/acceng02.html>. Acedido: 12:01/2004.

**Schaeffer, Pierre**

1966 *Traité des Objects Musicaux*. («Pierres Vives»). Paris: Éditions du Seuil.

**Schebera, Jürgen**

2000 «Explosão Artística e Contestação». In Lionel Richard e Carlos Araújo (eds. lits.) – *Berlim, 1919-1933: Gigantismo, crise social e vanguarda: a extrema encarnação da modernidade*. Lisboa: Terramar. Pp.74-93.

**Schoenherr, Steven E.**

1999 «Sound Recording Research at Bell Labs». In *Recording Technology History*.  
<http://history.acusd.edu/gen/recording/bell-labs.html>.

Atualizado em 01/09/2000. Acedido em 04/03/2004.

2001 «Loudspeaker History». In *Recording Technology History*.

<http://history.acusd.edu/gen/recording/loudspeaker.html>. Atualizado em 02/08/2001. Acedido em 04/03/2004.

2001a «Rice-Kellogg». In *Recording Technology History*.

<http://history.acusd.edu/gen/recording/rice-kellogg.html>.

Atualizado em 25/01/2001. Acedido em 04/03/2004.

2002 *Recording Technology History*.

<http://history.acusd.edu/gen/recording/notes.html>. Criado em 1999. Atualizado em 30/10/2002. Acedido em 22/01/2003.

2002a «Dynamic Range». In *Recording Technology History*.

<http://history.acusd.edu/gen/recording/dynamic.html>. Atualizado em 24/03/2002. Acedido em 04/03/2004.

**Schroeder, Manfred R.**

1984 «Progress in Architectural Acoustics and Artificial Reverberation: Concert Hall Acoustics and Number Theory». *Journal of the Audio Engineering Society*, 32, (4), Abril 1984, pp.194-203. Reimpresso em Thomas D. Rossing (ed. lit.) – *Musical Acoustics: Selected Reprints*. College Park (USA): American Association of Physics Teachers, 1988, pp.40-49.

**Schwartz, Eliot, e Barry Childs (eds. lits.)**

1998 *Contemporary Composers on Contemporary Music*. Expanded ed. S. L. (EUA): Da Capo Press.

**Schwartz, Elliot, e Daniel Godfrey**

1993 *Music Since 1945: Issues, Materials, and Literature*. New York: Schirmer.

**[Scientific American]**

1881 «The Telephone at the Paris Opera». *Scientific American*, 31/12/1881, pp. 422-423. In <http://earlyradiohistory.us/1881opr.htm>. Acedido: 07/04/2004.

1884 «Opera by Telephone». *Scientific American*, 14/06/1884, p. 373. In

<http://earlyradiohistory.us/1884opra.htm>. Acedido: 07/04/2004.

**Secor, H. Winfield**

1920 «The Versatile Audion: Some of the Many Practical Uses to Which the Audion Has Been Adapted». *Electrical Experimenter*, Fev.1920, pp. 1000-1001, 1080-1083. In <http://earlyradiohistory.us/1920au.htm>. Acedido: 07/04/2004.

**Shea, Richard F. (ed. lit.)**

1966 *Amplifier Handbook*. New York: McGraw-Hill.

**Silva, P. Martins da**

1989 *Elementos de Acústica Musical*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

**Sluyter, R. J.**

1983/84 «Digitalization of Speech». *Philips Technical Review*, vol.41, nº7/8, pp.201-223

**Snyder**

2000 *Edgar Varese, Father of Electronic Music*.  
<http://personal-pages.lvc.edu/%7Efry/snyder/em/varese.html>. Acedido: 05/10/2000.

**[Sonhors]**

2003 *Sonhors: un panorama des musiques électroniques*. <http://sonhors.free.fr/>. Acedido: 27/03/2004. [Os capítulos 1 .. 13, correspondentes aos ficheiros <http://sonhors.free.fr/sonhors1> .. <http://sonhors.free.fr/sonhors13>, serão referenciados por Sonhors 2003a .. Sonhors 2003m].

**Sonology, The Intitute of**

2001 *His Master's Noise*. [CD duplo]. Amsterdam: BVHaast. CD 06/0701.

**Stark, Scott Hunter**

2003 *Live Sound Reinforcement: A Comprehensive Guide to P. A. and Music Reinforcement Systems and Technology*. 8ª reimpressão. («Pro Audio Series»). Vallejo (CA): MixBooks.

**Stevenson, Ian**

1977 «A Dialectic of Audible Space», reproduzido de *Audile Paradigmatics*.  
[http://headwize.com/articles/steven\\_art.htm](http://headwize.com/articles/steven_art.htm). Acedido em 30/06/2002.

**Strunk, Oliver; Treitler, Leo; Morgan, Robert P. (eds. lits.)**

1998 *Source Readings in Music History, volume 7: The Twentieth Century*. New York (NY): W. W. Norton & Company.

**Stuckenschmidt, H. H.**

1960 *La Música del Siglo XX*. («Biblioteca para el Hombre Actual»). Madrid: Ediciones Guadarrama.

**Tak, W[illem]**

1958/59 «The Sound Effects». *Philips Technical Review*, vol. 20, nº 2/3, pp.43-44.

**Tazelaar, Kees**

2003 *Edgard Varese and Iannis Xenakis [Reconstructions -> Poème Electronique]*.

<http://home.wanadoo.tazelaar.varese.html>. Acedido: 11/01/2004. Actualizado: 23/09/2003.

2004a [Comunicação pessoal via e-mail]. 11/01/2004.

2004b *Poème Électronique: Philips, Le Corbusier, Xenakis and Varèse at the World Exhibition in Brussels 1958*. [Conferência no Teatro Aberto; anotações do autor]. Lisboa, 10/09/2004.

2004c [Conversa com o autor; anotações do autor]. Lisboa, 11/09/2004.

**Tazelaar, Kees, e Dick Raaijmakers (produtores)**

2004 *Popular Electronics: Early Dutch Electronic Music from Philips Research Laboratories, 1956-1963*. [Album de 4 CDs, com 6 brochuras]. S.l.: Basta. Basta 30.9141.2.

**[Teci]**

2001 *Theremin Enthusiast's Club International. Cello or Fingerboard Theremin*.

<http://typhoon.he.net/~enternet/teci/cello/cello.html>. Acedido: 14/03/2005. Criado: 1995. Actualizado: 2001.

**[The]**

1984 «Poème électronique herleeft», in *THE: TH-berichten*, 22 (13/02/1984). Acedido: 30/06/2002. Criado: 22/06/2000.

**Treib, Marc**

1996 *Space Calculated in Seconds: The Philips Pavilion; Le Corbusier; Edgar Varèse*. Princeton (NJ): Princeton University Press.

**Varèse, Edgard**

1936 «New Instruments and New Music» [Excerto de conferência na Mary Austin House, Santa Fe]. In *Schwartz e Childs 1998*: 196-198.

1939 «Music as an Art-Science» [Excerto de conferência na University of South California]. In *Schwartz e Childs 1998*: 198-201.

1959a «Rhythm, Form and Content» [Excerto de conferência na Princetown University]. In *Schwartz e Childs 1998*: 201-204.

1959b «Spatial Music» [Excerto de conferência em Sarah Lawrence College]. In *Schwartz e Childs 1998*: 204-207.

1962 «The Electronic Medium» [Excerto de conferência na Yale University]. In *Schwartz e Childs 1998*: 207-208.

**Varèse, Louise**

1972 *Varèse: A Looking-Glass Diary. Volume I: 1883-1928*. New York: Norton.

**Vermeulen, R[oe]loff**

- 1936 «The Philips Miller System of Sound Recording». *Philips Technical Review*, vol.1 (Abril 1936), pp.107-114. In Morton s/d.  
1962 «Forty Years of Acoustics». *R. G. T. Monitor*, vol.3, nº3 (Junho 1962), pp.72-79.

**Vivier, Odile**

- 1973 *Varèse*. («Solfèges»). Paris: Éditions du Seuil.

**Voelker, Ernst-Joachim**

- 2001 «Studio Production Systems». In Jerry Whitaker e Blair Benson, Standard *Handbook of Audio and Radio Engineering*. S.l.: McGraw Hill.  
<http://www.tvhandbook.com/support/>. Acedido 31/12/2003.

**Weber, Paul J.**

- 1963 *The Tape Recorder as an Instrumentation Device*. 3ª edição. S. l.: Ampex Corporation.

**Webster, John (ed. lit.)**

- 1999 *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 12. New York: John Wiley & Sons.

**[Webster's]**

- 1996 *Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*. New York: Gramercy Books.

**Weick, Brian L., e Bharat Bhushan**

- 1999 «Magnetic Tapes». In Webster 1999: 226-242.

**Weidenaar, Reynold**

- 1984 «Telharmonium». In *Sadie 1984: iii*, 537-539.

**Weiss, Piero, e Taruskin, Richard, eds. lits.**

- 1984 *Music in the Western World: A History in Documents*. New York (NY): Schirmer Books.

**Wen-Chung, Chou**

- s/d «Edgard Varese's 'Poem Electronique', premiered at the World's Fair 1958 . Comments», in OHM- The Early Gurus of Electronic Music.  
<http://www.furious.com/perfect/ohm/varese.html>. Acedido: 30/06/2002.  
1998 «Varèse: Who was He?». in Chailly 1998: 9-13.

**Whitaker, Jerry C.**

- 2001 «A Brief History of Radio». In Jerry Whitaker e Blair Benson (eds. lits.), Standard *Handbook of Audio and Radio Engineering*. S.l.: McGraw Hill.  
<http://www.tvhandbook.com/support/>. Acedido 31/12/2003.

**White, Glen D.**

1995 *The Audio Dictionary*. 2ª edição. Seattle: University of Washington Press.

**White, Thomas H.**

2004 *United States Early Radio History*. <http://earlyradiohistory.us/index.html>. Criado: Set.1996. Atualizado: 18/01/2004.

**Wilson, Charles**

2001 «Eimert, Herbert», in Sadie 2001: viii, 27-28.

**Winkel, Fritz**

1967 *Music, Sound and Sensation: A Modern Exposition*. [Texto publicado originalmente em 1960 com o título *Phänomene des musikalischen Hören*]. New York: Dover.

**Wolff, Irving**

1976 *Irving Wolff, Electrical Engineer, an oral history conducted in 1976 by Mark Heyer*. («Oral Histories»). New Brunswick (NJ): IEEE History Center, Rutgers University. [http://www.ieee.org/organizations/history\\_center/oral\\_histories/transcripts/wolff30.html](http://www.ieee.org/organizations/history_center/oral_histories/transcripts/wolff30.html). Atualizado: 24/07/2000. Acedido: 31/12/2003. [11 p.]

**Worner, Karl H.**

1973 *Stockhausen: Life and Work*. London: Faber & Faber.

**Xenakis, Iannis**

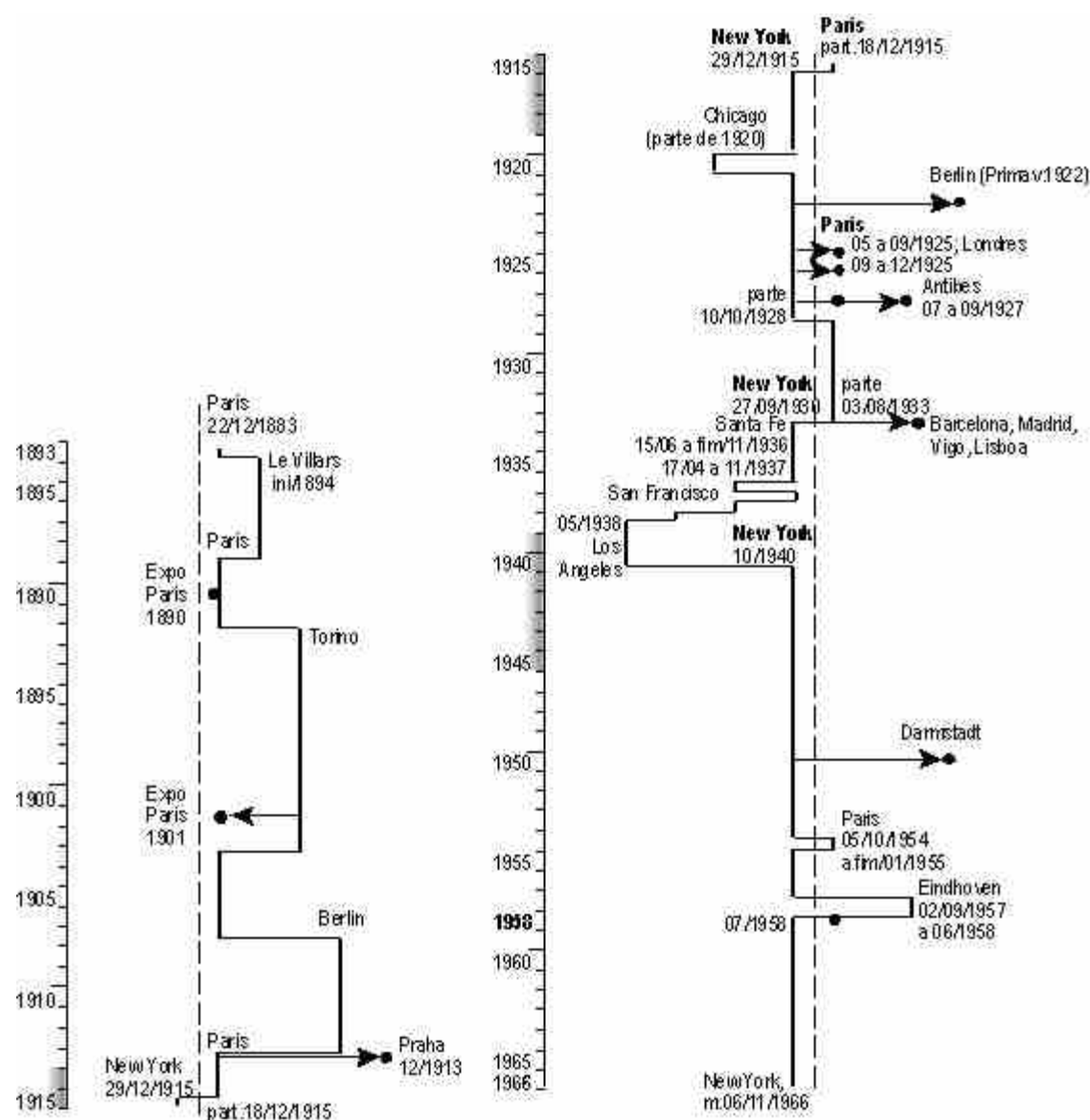
1958/59 «The Architectural Design of Le Corbusier and Xenakis». [Versão resumida do texto original de Xenakis]. *Philips Technical Review*, vol.20, nº 1, pp.2-9.

1963 «Musiques Formelles: Nouveaux principes formels de composition musicale». *La Revue Musicale*, 253/254.

1976 *Musique, Architecture*. 2ª ed. («Synthèses Contemporaines»). Tournai: Casterman.

## ANEXO A – O Percurso Biográfico de Varèse: Esquema

(Ver 1.1)





## ANEXO B – Escolha de Coeficientes de Absorção e Cálculo de Tempo de Reverberação

A selecção de tempos de reverberação resultou da pesquisa e comparação dos valores apresentados em diversas fontes (ver mais abaixo) para os materiais de revestimento, ou para os que me pareceram ter características mais aproximadas, nas condições específicas que julgo existirem. Assumi uma temperatura de 20°C e 70% de humidade (apesar de volumoso, o pavilhão estaria constantemente cheio de pessoas a respirar; é provável que o valor de humidade fosse mesmo superior, mas as alterações não seriam muito significativas. Na impossibilidade de avaliar objectivamente os equipamentos de luz, considerei-os equivalentes a 80 cadeiras metálicas (de qualquer forma, o seu contributo para a absorção total é irrelevante). Os resultados seleccionados foram os seguintes:

Material	#		Frequência (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
Betão (chão)	1	por m2	0,01	0,01	0,015	0,02	0,03	0,02
Betão (divisórias, paredes sem amianto)	2	por m2	0,010	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
Amianto projectado	3	por m2	0,30	0,60	0,65	0,60	0,60	0,58
Madeira	4	por m2	0,19	0,14	0,09	0,06	0,06	0,05
Objectos metálicos (equipamento)	5	por unid	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05
Homens (Inverno)	6	por unid	0,17	0,42	0,87	1,34	1,40	1,19
Mulheres (Inverno)	7	por unid	0,13	0,32	0,70	0,94	1,06	0,90
Homens (Verão)	8	por unid	0,09	0,23	0,61	0,97	1,14	0,97
Mulheres (Verão)	9	por unid	0,04	0,10	0,23	0,40	0,58	0,49
Ar (20°C, humidade = 70%)		por m3	0,0006	0,0012	0,0025	0,0045	0,0081	0,0208

Realizei o cálculo para cinco cenários possíveis (ver 7.1.1.2), manipulando as seguintes variáveis:

1.Sala cheia ou vazia. Para a sala cheia considerei 500 pessoas, sendo 60% do sexo masculino e 40% do sexo feminino. Para estabelecer esta percentagem, observei a constituição dos elementos do público da exposição que era visível e identificável em diversas fotografias, obtendo em mais de um dos casos percentagens desta ordem de grandeza. Para a sala vazia (como na sessão em que Bruin deu a ouvir a peça apenas ao irmão de Le Corbusier) considerei 4 do sexo masculino e 1 do sexo feminino (embora neste caso a influência do público seja irrelevante).

2.Inverno ou Verão. Aqui tive em conta apenas o tipo de vestuário do público. O pavilhão possuía ventilação e penso que ao nível do ar interior não haveria diferenças de maior. Assim, com o pavilhão vazio, esta diferença torna-se irrelevante.

3.A concha na sua forma final, recoberta interiormente de amianto projectado, e no cenário hipotético de não ter este revestimento, apresentando o betão em bruto.

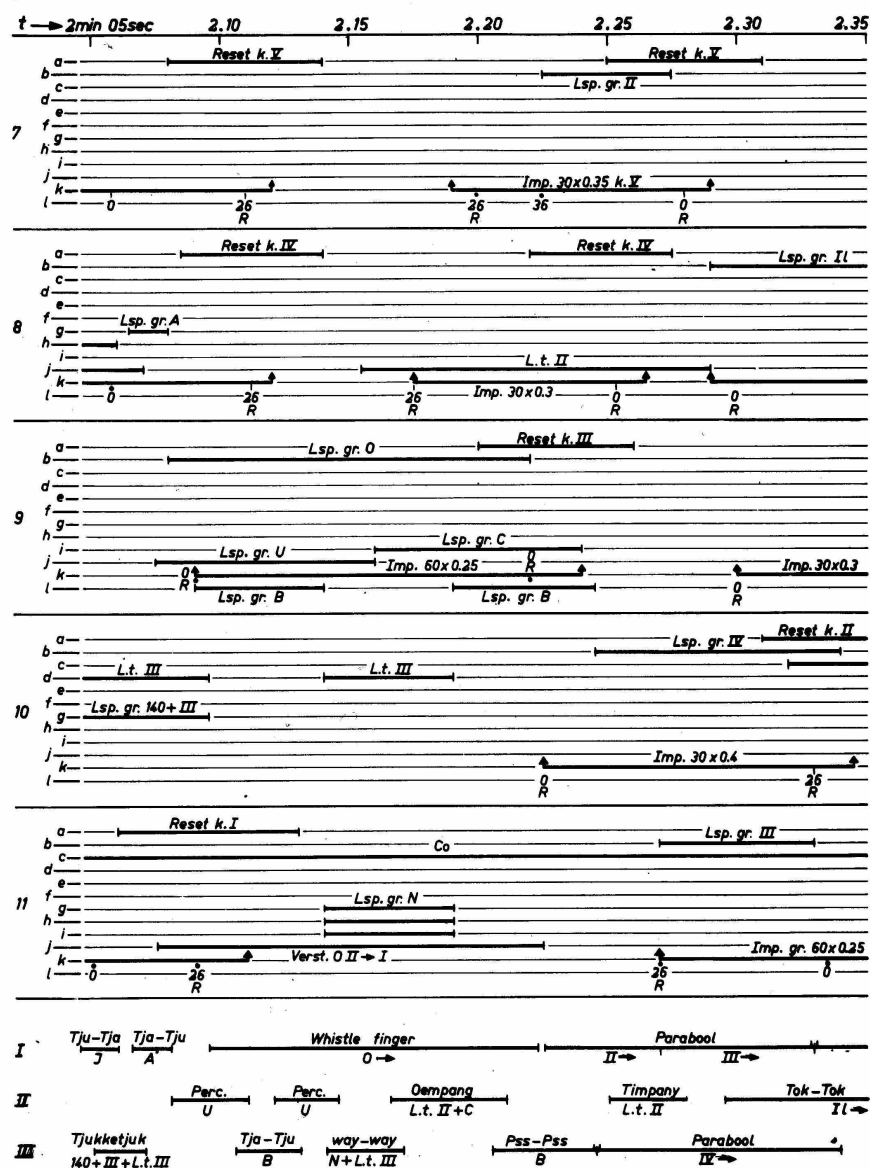
O cálculo foi realizado em folha de cálculo preparada para o efeito.<sup>103</sup> A título de exemplo, incluo de seguida a tabela usada para calcular os valores para o cenário de Verão, pavilhão cheio, concha revestida a amianto.

Superfície	Mat.#	Área ou		Frequência (Hz)				
		Nº unid.	125	250	500	1000	2000	4000
Chão (m2)	1	478,595	4,786	4,786	7,179	9,572	14,358	9,572
Concha (m2)	3	1686,840	506,052	1012,104	1096,446	1012,104	1012,104	978,367
Divisórias (m2)	2	86,400	0,864	1,037	1,382	1,642	1,987	3,024
Portas de entrada e saída (m2)	4	28,129	5,345	3,938	2,532	1,688	1,688	1,406
Equipamentos (equivalente a cadeiras)	5	80	0,800	1,600	1,600	2,400	4,000	4,000
Homens (número)	8	300	27,000	69,000	183,000	291,000	342,000	291,000
Mulheres (número)	9	200	8,000	20,000	46,000	80,000	116,000	98,000
Absorção total (α)			552,846	1112,465	1338,139	1398,405	1492,137	1385,370
Área total das superfícies absorventes		2279,964						
Absorção média			0,24248	0,487931	0,586912	0,613345	0,654456	0,607628
Volume (m3)		4362,75						
Absorção do Ar			2,818	5,235	10,907	19,632	35,338	90,745
Tr60 (Equação de Eyring-Norris)			1,102	0,458	0,346	0,321	0,285	0,315

As fontes em que se baseou a recolha dos coeficientes de absorção foram as seguintes: Backus 1977; Beranek 1990; Driscoll 1980; Hall 1980; Henney 1959; Henrique 2002; Knudsen e Harris 1988; Olson 1967; Silva 1989.

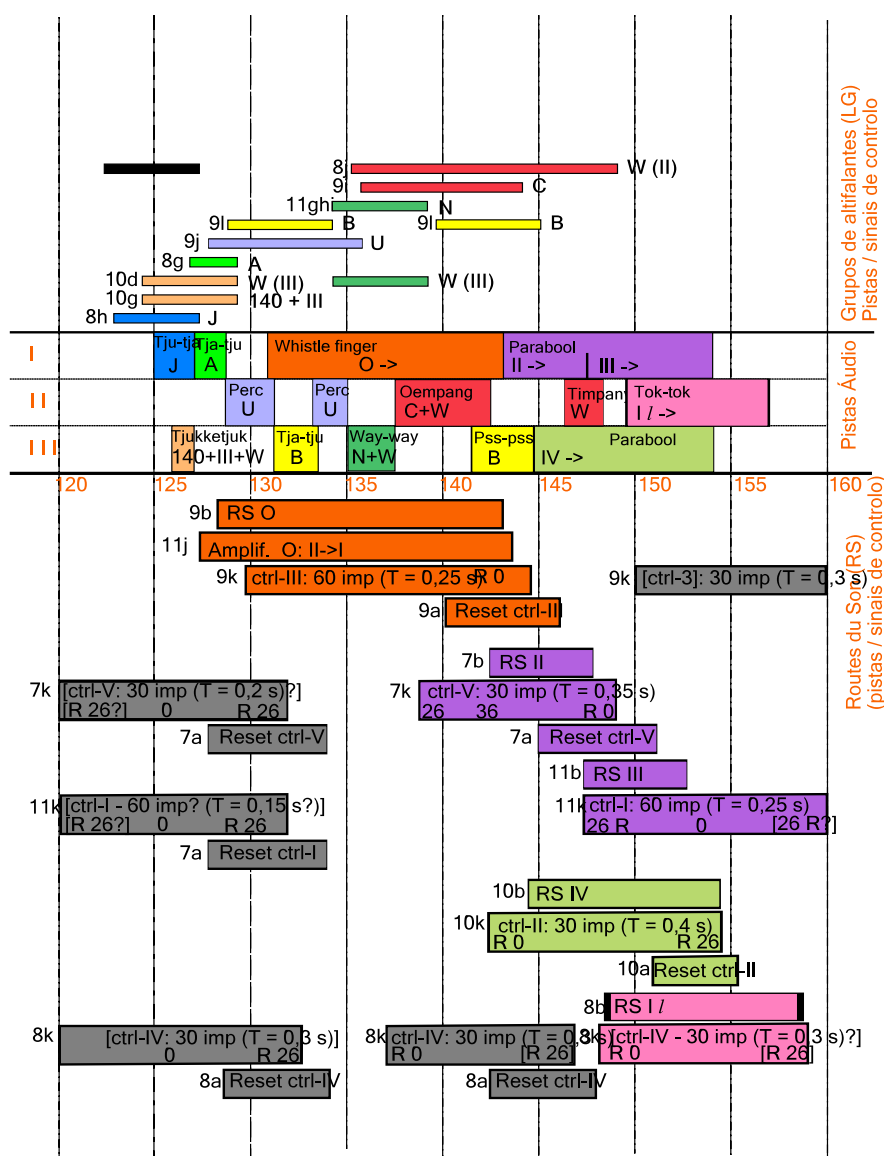
## ANEXO C – Esquema dos Sinais de Controle

Em baixo estão representados os sinais gravados nas três pistas de som (entre 125 s e 155 s), em cima os sinais as pistas 7-11 das fitas de controlo (as que têm a ver com a espacialização sonora. (Fonte: Bruin 1958/59: 48; ver 7.1.3 e Anexo D).



## ANEXO D – Interpretação dos Sinais de Controlo

O gráfico seguinte é derivado do esquema do anexo C, mas organiza os sinais de controlo em função não do número da pista em que se encontram mas da semelhança funcional. Rectângulos da mesma cor referem-se a um mesmo som. O cinzento indica que não há uma identificação objectiva do som a que o sinal está associado. Para facilitar a leitura, as pistas do som encontram-se no meio, com os sinais relativos aos LG e às RS respectivamente acima e abaixo.



## NOTAS

1.O *Institut voor Sonologie*, integrado desde 1983 no *Köninklijk Konservatorium*, em Den Haag, nasceu em 1960 como estúdio de música electrónica na Universidade de Utrecht, como uma continuação do estúdio da Philips em que o *Poème Electronique* havia sido criado (embora a empresa nesta altura abandonasse o projecto), do qual herdou não só o equipamento como o arquivo de fitas de obras aí criadas (Tazelaar 2003). Conrad Böhm é o seu actual director.

2.Esta continuidade instrumento-espaco e esta prática de compor com um instrumento específico em vista é herdeira da tradição do policoralismo veneziano e do repertório organístico. Varèse tinha já composto para instrumentos específicos em *Density 21,5*, obra realizada para estrear uma flauta específica feita de platina, ou em *Equatorial*, para que mandara construir dois instrumentos electrónicos segundo as suas especificações.

3.Para fins de trabalho, extrai a faixa correspondente do CD para ficheiro em formato RIFF .WAV. Indico os tempos até ao milésimo de segundo, o que ultrapassa em geral a precisão possível na identificação do início de um «som».

4.Em 1961 Varèse concluiu a primeira parte de *Nocturnes*, mas o projecto como um todo estava ainda incompleto à data da sua morte.

5.Salvo indicação em contrário, toda a informação factual relativa ao processo de criação do *Pavilhão Philips* contida nesta dissertação é baseada em Treib (1996).

6.Filósofo e matemático polaco (1778-1853) (Schwartz e Childs 1998).

7.O termo *eléctrico* nesta época é por vezes usado no sentido de *electrónico*.

8.A palavra *utopia*, significando etimologicamente «não-lugar», surge em 1516 como o título de um livro de Thomas More, que a associa também ao conceito de «eu-topia», ou «bom-lugar» (Argan e Fagiolo 1994: 57).

9.O facto de esta proporcionalidade não se verificar em todas as condições – *i. e.*, de a *função de transferência* destes sistemas não ser *linear* – é a principal causa de distorção neste tipo de dispositivos.

10.Ao contrário do que sucede nos primeiros altifalantes, até 1925 (altura em que começam a surgir gramofones electrificados) a campânula dos gramofones era cónica e não exponencial.

11.*Laurianne*, de Augusto Machado, estreada e representada 12 vezes nesse ano, em que foi a ópera com maior número de representações no S. Carlos (Carvalho 1993: 358).

12.A palavra *triode* foi introduzida na língua inglesa entre 1920 e 1925 (Webster's 1996: 2023), provavelmente para distinguir este tipo de válvula do *pentode* ou *penthode* [*pêntodo*], uma válvula entretanto inventada na Holanda, que tinha mais duas grelhas auxiliares e apresentava maior ganho, mas também menor linearidade e por isso maior distorção como dispositivo amplificador (White 1995: 241). Para uma explicação do que é a grelha, ver a descrição do *audion* mais adiante nesta secção.

13. Os dispositivos com capacidade de amplificação (válvulas, transístores) são também designados *activos*, sendo *passivos* aqueles que não têm essa capacidade (resistências, condensadores, bobinas).

14. O termo *radiofónico* – por oposição a *radiotelegráfico* – denota um processo de transmissão por ondas electromagnéticas em que se transmite informação áudio, eventualmente recuperável como som.

15. Apesar destes progressos, anos mais tarde Secor (1920) referindo-se ao *audion*, ainda afirma que «Some of the most remarkable phenomena in the realm of pure and applied science are due to the as yet not fully understood electronic action taking place within this bulb» [Alguns dos fenómenos mais notáveis no reino da ciência pura e aplicada são devidos à até agora não totalmente compreendida acção electrónica que tem lugar dentro desta ampola].

16. Na bibliografia da especialidade o *audion* é frequentemente referido como *vacuum tube* [válvula de vácuo], o que é uma imprecisão: segundo Greene (1991), um dos equívocos de De Forest era o acreditar que, já que o cátodo dos primeiros audions era aquecido com uma chama (mais tarde ele substituiu-a por um filamento de carvão semelhante ao de uma lâmpada, alimentado electricamente), o audion funcionava porque um gás aquecido permitia a passagem de uma corrente contínua. De Forest refere: «It is required that the audion be made with scrupulous care; a trace of impurity in the gas may produce surprisingly large effects in the potential across the variation layer. The presence of a mere trace of moisture may cause great difference in the behavior of a tube.» [Exige-se que o audion seja feito com escrupuloso cuidado; um vestígio de impureza no gás pode produzir efeitos surpreendentemente grandes no potencial da camada de variação. A presença de um simples vestígio de humidade pode causar grandes diferenças no comportamento de uma válvula] (1907). Note-se que em 1914 De Forest havia vendido a patente do *audion* à AT&T (Greene 1991), após Arnold, a 30/10/1912, ter assistido a uma demonstração (Schoenherr 1999)

17. Arlington (Virginia) é um centro militar da marinha dos EUA. Esteve associado, durante a I Guerra Mundial e nos anos que a antecederam, a experiências de emissão via rádio. A primeira emissão intercontinental de radiofonia (som via rádio) foi realizada em 1915 entre Arlington e a Torre Eiffel.

18. O termo inglês *frequency response* – literalmente, «resposta em [função da] frequência» – designa a banda de frequências que um equipamento ou componente reproduz com uma eficácia considerada razoável. Dado que o termo «frequência de resposta», por vezes usado em português, é uma má tradução, usarei, conforme fôr mais apropriado, *curva de resposta* (o nível do sinal de saída para um sinal de entrada constante em função da frequência, geralmente representado sob a forma de um gráfico), *banda de frequências* ou *gama de frequências*.

19. Potgieter (s/d) menciona uma melhoria na curva de resposta para 30-9000Hz, com menos irregularidades, após a introdução de sistemas electrónicos de gravação, embora não especifique se se está a referir às primeiras gravações electrónicas nem com que atenuação essas frequências são produzidas, relativamente às frequências centrais.

20. Para além de outros inconvenientes, como ter um sinal de saída muito reduzido, exigindo pré-amplificadores especiais, e de a mudança de agulha, quando esta se gasta, ter de ser realizada na fábrica com equipamento especial.

21. Vermeulen (1962: 76) refere que foi precisamente com o aparecimento do sistema sonoro que a Philips começou a produzir giradiscos profissionais.

22. Segundo Nijssen (2000), o desenvolvimento deste sistema foi o início do que mais tarde se chamaria a Divisão de Electro-Acústica da Philips.

23. Também aparece ortografado como *telegraphone* ou *telegrafoon*.

24. Não me foi possível determinar quando começou a ser empregue este tipo de polarização na gravação magnética, mas parece-me provável que o fosse – conscientemente ou não – já no próprio *telegraphon*: os microfones de carvão então existentes eram na realidade resistências variáveis com o som, alimentadas por

baterias que forneciam corrente contínua, com a qual o seu sinal de saída já estava naturalmente misturado.

25. Para a explicação física deste processo – que, pela sua complexidade, ultrapassa o âmbito deste texto – ver Gao, Robertson e Shan 1999: 155-156; Richter e Veitch 1999: 219-222; Brug *et al.* 1999: 83-85.

26. O *sistema de gravação directa* [*direct recording system*] corresponde ao que em linguagem comum chamamos gravação analógica. Weber (1963: 10) define-o como aquele em que «the signal to be recorded is amplified, mixed with a high-frequency bias [...] and presented directly to the recording head as a varying electric current» [o sinal a ser gravado é amplificado, misturado com uma polarização de alta frequência (...) e apresentado directamente à cabeça de gravação como corrente eléctrica variável]. Distingue-se de sistemas como a gravação de um sinal modulado em frequência (usado nas pistas de som dos gravadores de vídeo de alta fidelidade) ou a gravação digital.

27. Este gravador é geralmente referido como oferta de um «doador anónimo», mas segundo MacDonald (2003: 338) foi efectivamente adquirido pela esposa do compositor, Louise Varèse, e pelo seu amigo Albert L. Copley (ou Alcopley), que lho ofereceram como presente.

28. As curvas de equalização, ou de *pré-ênfase* e *de-ênfase* [*pre-emphasis, de-emphasis*] são compensações feitas no registo e na reprodução de uma fita com dois objectivos:

1. Compensar o facto de que a cabeça de gravação produz *níveis* de magnetização e a de leitura capta as *diferenças* entre os níveis de magnetização em pontos subsequente da fita, o que obriga a reforçar os graves na leitura.
2. Reforçar os agudos na gravação e atenuá-los na reprodução (atenuando igualmente o ruído de banda larga dos circuitos electrónicos de leitura e da granularidade da própria fita).

29. Vivier (1973: 146), que fôra testemunha dos acontecimentos, refere que «Pierre Henry se montrait intransigent sur la qualité, la ‘propreté’ du son enregistré, et il fallut innover» [Pierre Henry mostrava-se intransigente quanto à qualidade do som gravado, e foi necessário inovar]. Pouco antes refere: «le studio de la Radiodiffusion n’était pas très bien équipé» [o estúdio da radiodifusão não estava muito bem equipado]. Tratar-se-á de uma sugestão subtil de que o equipamento não era adequado às fitas gravadas nos EUA e que foi preciso contornar esse problema através de truques? Por outro lado, é de notar que os materiais recolhidos por Varèse nos EUA para a primeira e segunda interpolações (que me parecem ter alguma distorção não deliberada) contêm uma grande quantidade de energia nos agudos, e que as curvas de pré-ênfase sempre foram concebidas tendo em conta um equilíbrio «normal» do espectro, em que a região aguda contribui com uma parte não muito elevada da energia, pelo que Varèse estaria, ao recolher os referidos sons, a saturar a fita de forma não intencional.

30. Digo «directamente» porque hábitos culturais podem levar a que outros elementos, provenientes de outros sentidos ou da própria audição, sejam tomados em conta, provocando ilusões: p. ex., a ligeira descida momentânea da frequência de um som pode sugerir, por associação com o efeito Doppler, um movimento da fonte sonora de aproximação-afastamento.

31. No Palais de l’Industrie (Scientific American 1881)

32. Apesar da sua grande qualidade o microfone de fita praticamente caiu em desuso por ser dispendioso, extremamente frágil e possuir uma impedância eléctrica muito baixa (necessidade de transformadores adaptadores de impedância, que podem introduzir distorção).

33. Note-se o ênfase na espacialização precisa dos acontecimentos no palco (a captação do som reflectido pela sala é quase um «extra!»), que veio a ser a base do sucesso dos sistemas estereofónicos de duas pistas.

34. O próprio Beranek (1996) teve de conceber equipamento (microfones e altifalantes) com qualidade suficiente para poder realizar as experiências.

35. Não confundir com *ambiphony*, que designa sistemas que tentam reproduzir através de auscultadores a tridimensionalidade do campo sonoro original, através da gravação com microfones colocados em cabeças artificiais.

36. À falta de uma melhor tradução, poderemos chamar-lhes *rótores*.

37. Na patente de 04/02/1896 Cahill usa mesmo, no parágrafo introdutório, a palavra «synthesizing» para descrever o processo de síntese aditiva que usa,

38. Dados baseados em Weidenaar (1998), Holmes (2002: 44-52), Obsolete (1998o) e Chadabe (1997: 3-8).

39. Preservado pelo menos até 1951 pelo irmão mais novo do inventor, Arthur Cahill, possivelmente destruído no início da década de 1960 (Weidenaar 1984: 539).

40. Dedução minha, baseada na hipótese de c.12 alternadores por nota ( $12 \times 12 = 144$ ).

41. Presumivelmente. As fontes sugerem que no segundo modelo era o terceiro teclado que permitia tocar em afinação natural, mas são pouco claras a este respeito.

42. Em 12/1914 a companhia de Cahill abriu falência.

43. Um transformador são duas bobinas juntas em que uma induz na outra um sinal proporcional à corrente que a atravessa. Ao introduzir o núcleo metálico no transformador o acoplamento entre as duas bobinas deveria melhorar, aumentando o nível do sinal de saída.

44. Note-se que ele usa o termo *electric* e não *electronic*: este último termo só teria razão de ser alguns anos mais tarde (cf. 3.2; 2.2).

45. Este fenómeno aconteceria provavelmente por a amplitude obtida ultrapassar os limites da zona linear da função de transferência do transdutor, criando o que mais tarde se vai chamar *clipping*.

46. Passara-se um fenómeno semelhante século e meio antes, com a harmónica de vidro – um instrumento constituído por taças de vidro que eram friccionadas com o dedo, produzindo sons quase sinusoidais e muito constantes, que era acusado de levar muitos dos seus executantes à loucura Montagu (1979: 124).

47. Estas lâmpadas, usadas na Europa antes do aparecimento da lâmpada de incandescência de Edison, baseavam-se na produção de uma faísca entre duas pontas de carvão ligeiramente separadas, através da aplicação entre elas de uma tensão eléctrica elevada.

48. Não está muito claro se o nome *audion piano* era o do protótipo ou do instrumento projectado. Relativamente a este último, é referido em Obsolete (1998e) que não se sabe se chegou a ser construído.

49. Uma bobina é um condutor eléctrico (p. ex., fio de cobre) enrolado sobre si mesmo, e caracteriza-se por uma dada *impedância*, que é tanto maior quanto mais espiras tiver e quanto maior fôr a secção de cada espira. Se estiver enrolada à volta de um *núcleo* formado por um material que produza um campo magnético a sua impedância aumenta. Um condensador é formado por duas placas de um material condutor, paralelas, mas separadas por um isolante, o *dielétrico* – que pode ser simplesmente o ar ou, quando se pretende que o condensador tenha uma *capacitância* muito elevada, pode ser um material impregnado de uma solução líquida (*condensadores electrolíticos*). A capacitância depende também da superfície das placas e da distância entre elas: quanto maior a primeira e menor a segunda mais elevada a capacitância.

A utilidade de bobinas e condensadores em circuitos electrónicos está no facto de estes componentes terem um comportamento diferente a diferentes frequências: assim, um condensador deixa-se atravessar por correntes alternadas tanto mais facilmente quanto mais elevada fôr a sua frequência (a sua *impedância eléctrica* é proporcional à frequência, para uma mesma capacitância do condensador), enquanto numa bobina acontece o contrário. Além disso, condensadores e bobinas introduzidos em circuitos podem produzir alterações de fase nos



sinais alternados que os atravessam. Estas qualidades tornam-nos componentes essenciais para a construção de filtros, ressoadores e osciladores electrónicos.

50. Na realidade o primeiro e terceiro *telharmoniums* poderiam modular pelo menos a intensidade. Embora as descrições a que tive acesso não sejam claras, o sistema de introdução de núcleos nas bobinas (cf. 3.2) parece-me capaz de modular a amplitude do sinal mesmo depois do ataque da nota. Em princípio este sistema terá sido usado no protótipo e no terceiro instrumento, mas julgo improvável que os executantes o tenham conseguido explorar convenientemente.

51. Na prática, a frequência mais grave estaria limitada pelas características do transdutor usado para transformar as oscilações em som, e possivelmente pela dificuldade de controlar o oscilador de forma estável (o menor desvio de frequência, no caso de frequências mais baixas, corresponderia a um intervalo musical amplo).

52. A descrição refere-se ao modelo que a RCA comercializou a partir de 1929 (cf. 3.4.2).

53. Note-se que a frequência deste oscilador é irrelevante para o som obtido (assumindo que não interferira com as dos outros osciladores).

54. Interpreto «a few percent» como significando um valor de pelo menos 2 a 3%, mas não maior do que uns 10%.

55. Segundo Chadabe (1997: 8), apenas 200. Dada a consistência das outras fontes, presumo tratar-se de um erro.

56. Holmes (2002: 59) refere c.1922 como a data da criação original do instrumento. Poderá estar-se a referir a algum protótipo que tenha sido reformulado c.1930.

57. Ao rever *Equatorial* em 1961 ele substituiu os *theremins* por *ondes Martenot*, mas provavelmente por não conseguir obter instrumentos adequados de Lev Termen, que desde 1938 se encontrava em parte incerta na URSS (Holmes 2002: 59).

58. Em Obsolete (1998k) refere-se que a capacitância da mão era usada para controlar o som. Presumo que se trate de uma confusão: o movimento da mão, ao arrastar o anel, variava a posição do fio que, passando por uma roldana, fazia rodar o cursor de um condensador variável. Seria um mecanismo semelhante aos dos rádios da era pré-digital, mas ao contrário: nesses rádios é o botão de sintonia que desloca um fio em que está uma tira luminosa que, no mostrador, indica a frequência a que o rádio está sintonizado.

59. Segundo Davies (1984d) apenas existe colaboração com Coupleux a partir do segundo dos instrumentos referidos.

60. A ser rigorosa a informação contida em Obsolete (1998f) haverá apenas um oscilador por tecla, a menos que as válvulas fossem duplas (o que me parece improvável na época). Isto indicará que os osciladores são de áudio, em vez de recorrerem ao princípio heterodino (que exigiria duas válvulas por oscilador). A confirmar-se esta hipótese, o tamanho do instrumento deveria ser considerável, devido às bobinas e condensadores de grandes dimensões necessários para produzir as oscilações graves, e a sua afinação seria uma empresa muito morosa e complexa.

61. Apenas as de Hindemith sobreviveram.

62. Segundo MacDonald (2003: 288), é provável que Varèse tenha travado conhecimento com Cage no ano anterior, o que me leva a inquirir se haverá alguma relação entre as experiências de ambos.

63. Não pude até agora determinar a data em que o osciloscópio de raios catódicos surgiu: em Webster's (1996: 1369) a introdução da palavra *oscilloscope* na língua inglesa é apresentada como datando de 1905-10, mas presumo que na década de 1930 fosse ainda um aparelho pouco comum. De qualquer forma, um osciloscópio tradicional não permite a memorização da visualização de um som: a imagem que produz acompanha em tempo real a produção do próprio som e, como ele, é efêmera. A falta de facilidades de visualização do som destaca-se

pela ausência nos estúdios de Paris e Köln, mas não em Eindhoven, como veremos no cap.6.

64.Ao nível da imagem, McLaren também utilizou muitas vezes o desenho directo sobre a película.

65.Talvez isto se deva à eventual adopção de circuitos osciladores de áudio, em vez do recurso à heterodinização de duas frequências ultrasónicas. A primeira forma que surgiu de obter osciladores a válvulas era através de circuitos ressonantes LC que exigiam bobines e condensadores difíceis de realizar (cf.3.3). A alternativa era o uso de osciladores baseados em circuitos desfasadores, por exemplo com resistências e condensadores (RC), que nalguns casos (p. ex., no caso do multivibrador) produziram formas de onda não sinusoidais (cf. 3.2). Por outro lado, essas formas de onda teriam a vantagem de permitir modificar facilmente o timbre por filtragem (síntese subtractiva), resolvendo um dos problemas do *telharmonium*, a sua monotonia tímbrica (cf.3.1).

66.A nota é realizável vocalmente (corresponde à nota mais aguda da ária da Rainha da Noite, ao diapasão moderno), mas o timbre com que Varèse a apresenta é diferente (soa como um grito, sobrenatural, não como uma colutadura), por resultar da transposição de uma nota cantada mais abaixo.

67.A referência a resultantes inferiores e sons diferenciais (a mesma coisa, na terminologia actual) pode causar alguma dúvida: é possível que por *resultantes inferiores* Varèse se esteja a referir aos *subharmónicos*, obtidos por divisão de frequência em instrumentos como o *trautonium*.

68.Para quem apenas contactou com gravadores de bobinas produzidos a partir da década de 1960 pode parecer estranho um número de pistas que não seja 1, 2, 4, 8, ..., mas na década de 1950 são muito comuns as referências a gravadores de 3 pistas.

69.Anos antes, Stockhausen inventara um método de realizar mais rapidamente *loops* sintetizados por acumulação de sons sinusoidais, baseado na troca da posição das três cabeças do gravador.

70.O *factor Q* de um filtro ou de um ressonador (electrónico ou mecânico) corresponde à relação entre a transmissibilidade deste à sua frequência de ressonância e a frequências muito inferiores a ela. A banda passante de um filtro é tanto menor quanto maior fôr o seu factor Q.

71.Badings era formado em Geologia (Tazelaar e Raaijmakers 2004: III, 3). É provável que o seu título académico lhe tenha aberto as portas. Por outro lado, é natural que a sua formação científica tenha ajudado no relacionamento com os engenheiros da Philips.

72.A técnica das figuras de Lissajous baseia-se na aplicação às entradas x e y de um osciloscópio dois sinais. Se as frequências dos dois formarem uma relação harmónica (intervalo natural) o resultado é uma forma alongada que não se move; se a figura roda significa que a relação não é harmónica.

73.Quando isto acontece o resultado visual que se obtém no osciloscópio, ligando os dois sinais ao canal x e ao canal y, respectivamente, torna-se estável.

74.Na execução final, um canal era reproduzido no palco e o outro difundido por uma série de altifalantes colocados à volta do público (relatório de Bruyn, in Tazelaar e Raaijmakers 2004: III, 23-24).

75.As parabolóides hiperbólicas (Ph) são superfícies curvas que podem ser definidas geometricamente a partir de dois segmentos de recta dispostos num espaço tridimensional. Dividindo estes dois segmentos, A e B, num mesmo número de partes iguais, e unindo os pontos resultantes desta divisão no segmento A com os correspondentes no segmento B através de segmentos de recta, obtém-se a definição geométrica da Ph. Este tipo de superfícies, construídas em betão, estiveram muito em voga na década de 1950 devido às suas excelentes propriedades de resistência estrutural, como o atestam as dificuldades de demolição do próprio Pavilhão Philips (cf. Treib 1996: 228).

76. Puente (2000: 192) referencia esta imagem como proveniente dos arquivos da Philips. Na imagem que apresento, transpuz a escala para uma posição central (no original ela encontra-se do lado direito), obviamente sem a redimensionar.

77. Um aspecto que se pode verificar da observação das figs. 7.1 e 7.3 é que não é possível fazer coincidir integralmente a planta de Xenakis e cada um destes dois desenhos. Dado que o desenho de Xenakis é um desenho técnico, parece-me razoável assumir que os restantes dois sejam apenas aproximações simplificadas, pelo que a sua interpretação deve ser sempre tomada com um grão de sal.

78. A avaliação do volume interior poderia ser feita através de um molde «em negativo» à escala, num material impermeável, medindo o volume de água necessário para o encher, mas este método apresentava dificuldades, devido à direcção oblíqua das pontas do pavilhão.

79. Foi usado o programa Caligari TrueSpace 3.2, tomando como coordenadas (0, 0, 0) para um ponto aproximadamente no centro da área ocupada pelo público. O sistema de coordenadas usado por este software corresponde: no plano x, valores positivos para o lado direito; no plano y, valores positivos para cima (quando o desenho é apresentado em planta). As coordenadas foram armazenadas em folhas de cálculo (Corel Quattro Pro v.10), servindo para calcular as superfícies expostas das Ph que constituem a concha, para encontrar as coordenadas que permitiram definir as curvas de nível e calcular finalmente o volume interior.

80. Esta foi uma das simplificações usadas para tornar o modelo manejável. Outra simplificação foi o facto de, ao estabelecer a geometria das Ph que intersectam o solo, em vez de encontrar um segmento de recta com um valor z negativo como linha geradora (que depois seria dividida em partes iguais) dividir a própria curva de intersecção em partes aproximadamente iguais, estabelecidas graficamente com um curvímeter. Finalmente, a geometria da entrada e da saída foi obtida por tentativa e erro, com base na observação das diversas fotografias publicadas em Treib (1976). Por comparação visual dos resultados com as fotografias existentes, estimo que os erros na avaliação do volume e superfícies resultantes destas simplificações não ultrapassem os 5%.

81. O software TrueSpace 3.2 permite a alteração do ponto de vista em tempo real, «viajando» à volta de / dentro do objecto modelado. Na prática, tive a oportunidade de experimentar observar o interior de uma diversidade de pontos de vista, confirmando a primeira impressão de assimetria das superfícies da concha.

82. Como veremos em 7.1.3, estes altifalantes constituem um *Loudspeaker Group* (LG), sendo por isso alimentados em fase. Assim, a frente de onda produzida será plana (logo, direcciona) para qualquer frequência cujo comprimento de onda seja igual ou inferior à dimensão do grupo. Se assumirmos, comparando com a altura das pessoas e o efeito de perspectiva, um diâmetro do grupo da ordem de 1,8 m, teremos  $f=344/1,8=191$  Hz, pelo que podemos assumir um comprimento direcciona para frequências a partir de c. 200 Hz.

83. Salvar-se contudo o facto de, tendo em conta o elevado coeficiente de absorção do revestimento das paredes, a energia do som reflectido ser uma percentagem reduzida da que é emitida pelo grupo de altifalantes.

84. Uma reconstrução 100% exacta do Pavilhão Philips seria hoje em dia legal e moralmente impensável, já que o material usado para o revestimento interior – o amianto – é cancerígeno. Segundo Tazelaar (2004a) me informou, existe um grupo de pessoas interessadas em mover as influências necessárias para que seja feita uma réplica do pavilhão, adaptada à tecnologia actual, para apresentação de obras multimédia.

85. Neste modelo não foram descontados os espaços tomados pelos equipamentos de luz, pelos *woofers* (instalados em compartimentos de betão junto ao solo) e por uma das cabinas de projecção.

86. A primeira ferramenta para prever teoricamente o tempo de reverberação de um espaço foi a fórmula de Sabine que, partindo de pressupostos simplistas, é totalmente ineficaz no caso de espaços pequenos e/ou com valores elevados de absorção média. Os trabalhos de Wallace Sabine foram publicados separadamente entre 1900 e 1915 e em compilação após a sua morte, em 1919. A fórmula de Eyring-Norris corrige essas simplificações. Foi publicada pela primeira vez no *Journal of the Acoustical Society of America* em 1930 (Henrique 2002: 806).

87. Num memorando de Xenakis, de 21/02/1957 (Treib 1996: 49) aparece uma estimativa de c.2100 m<sup>2</sup> para a concha, e num esboço também de Xenakis (Treib 1996: 26) menciona-se c.500 m<sup>2</sup> para o solo. Tendo em conta o espaço retirado pela entrada e pela saída, considero os meus resultados coerentes com estas estimativas.

88. Parece-me altamente improvável que a espessura fosse muito inferior a este valor. As placas eram mantidas sob tensão por cabos de aço de 7 mm, no exterior e no interior, sendo que os do interior estavam totalmente cobertos. Note-se que os tensores (de atarrachar) destes cabos os mantinham, nalguns lugares, ligeiramente afastados do betão.

89. Diversos coeficientes de absorção a 125 Hz foram obtidos por estimativa, outro possível factor de erro no cálculo da reverberação às frequências mais graves.

90. Outra solução seria suspender superfícies medianamente absorventes, mas esta solução entraria em conflito com os efeitos de iluminação e as projecções de Le Corbusier.

91. Baseio-me na minha experiência pessoal, ao analisar ambas as versões, usando auscultadores para as ouvir (portanto sem qualquer reverberação adicional do meu lugar de escuta). Devo a informação sobre a forma como foi manipulada a gravação a Tazelaar (2004c), que estivera envolvido, juntamente com Konrad Boehmer, na preparação da mistura usada pela Decca. Tazelaar referiu-me também que o nível de gravação da obra neste CD é demasiado baixo, perdendo desnecessariamente qualidade.

92. Considerei como distância máxima entre superfícies 30 m, que é aproximadamente a distância entre a entrada e a saída.

93. Na literatura são referidos números de altifalantes muito variados, entre 300 e 450. Varèse (1959a) fala em 425, Tak (1958/59: 44) refere 325 altifalantes comuns + 25 woofers. Tazelaar (2004d: II-19), que considero a autoridade actualmente mais credível, refere 425 altifalantes. Embora o artigo de Tak pertença a uma publicação oficial da Philips, que certamente não teria interesse em reduzir o número de altifalantes, os artigos sobre o Pavilhão publicados na *Philips Technical Review* estavam já escritos antes da obra terminada e os elementos que apresentam nem sempre correspondem à versão final – um facto para o qual Tazelaar (2004c) me chamou a atenção. Num memorando autógrafo de Xenakis sobre *Concret PH* (Mâche 2001: 175) ele escreve: «Les 400 hautparleurs devaient remplir le volume interieur (...)» [Os 400 altifalantes deveriam encher o volume interior]. O mesmo Xenakis, contudo, numa carta a Louis Kalff (datada de 03/10/1957, portanto quando o sistema de controlo ainda não estava concluído e os altifalantes não estavam colocados) refere «the concrete enclosures for the 300 loudspeakers that Mr. Tak had recommended» [as caixas de betão para os 300 altifalantes que o Sr. Tak tinha recomendado] (Treib 1996: 85). É provável que Tak tivesse previsto c.300 altifalantes, posteriormente aumentando o número para 325 + 25 (conforme aparece na revista) e depois, na implementação prática, se tenha acabado por colocar c.400 altifalantes + 25 woofers.

94. Segundo uma lista de preços de 1961, publicada em <http://www.sitecenter.dk/oct/nss-folder/philipsfullrange/1961%20pricelist.JPG> (acedido em 20/10/2003). Não tenho elementos sobre se se trata de potência RMS ou de pico.

95. Cálculo baseado em valores retirados de Raichel 2000: 241.

96. No caso dos LG o problema não será em princípio relevante, já que é possível fazer a comutação antes de começar e depois de acabar o sinal, de modo que apenas se ouviriam cliques se houvesse algum sinal de corrente contínua residual (improvável, pois os amplificadores seriam possivelmente a válvulas, com acoplamento do altifalante à etapa de saída através de um transformador) ou se o nível de ruído de fundo da fita ou do equipamento fosse elevado (o que, a julgar pela relação sinal-ruído da ordem dos 65 dB da reconstrução de Tazelaar, me parece improvável).

97. Informação de Tazelaar (2004c), que a obteve de Anton Buczynski.

98. Num dos esboços intermédios de Xenakis para o pavilhão havia uma superfície cónica L e uma PhN que depois foram substituídas por uma só superfície, a PhM (Xenakis 1976: 132-140). Estaria o LG N situado onde originalmente havia a PhN, isto é, na zona da PhM situada entre PhB e PhD? Trata-se porém de mera conjectura: note-se de resto que os LG identificados como C e A correspondem respectivamente aos picos representados por Ae B na planta.

99. Tazelaar (2004c) referiu-me ter-lhe sido contado por Gottfried Michael Koenig, colaborador de Stockhausen quando este realizava *Kontakte*, que originalmente esta obra era para ser realizada com 5 pistas, uma delas ligada a um altifalante no tecto da sala.

100. Não está totalmente claro, em Vivier, que se trate da mesma carta, embora assim pareça.

101. Esta obra não deve ser confundida com *Atmosphères* para orquestra. Em 1996 foi realizada por Kees Tazelaar uma reconstrução, usando meios digitais, que teve a aprovação de Ligeti e foi designada *Pièce Electronique n°3* (Sonology 2001: 14).

102. Brecht era um herdeiro da tradição teatral que se criara em Berlim com Max Reinhardt e Edwin Piscator. O texto de Hugo von Hofmannsthal (o libretista da *Elektra* de Richard Strauss) usado por Varèse numa das obras perdidas do período berlinense – a ópera *Œdipus und die Sphinx*, que MacDonald (2003: 23) considera o seu principal esforço criativo desse período – fôra levada ao conhecimento do compositor pela encenação de 1908 de Max Reinhardt (*ibid.*: 22).

103. Software usado: Corel Quattro Pro, versão 10.